



**uc3m** | Universidad **Carlos III** de Madrid

Grado Universitario en Ingeniería Informática  
2016-2017

*Trabajo Fin de Grado*

# “Desarrollo de un sistema de trading algorítmico bajo Metatrader”

---

Eloy López Díaz

Tutor

David Quintana Montero

Lugar y fecha de presentación prevista

Campus de Leganés – 7.2.H01.

Jueves 6 de julio de 2017, 9:30 horas.



*[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]*

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons  
**Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**



# Índice de contenidos

<b>1. Introducción y objetivos.</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos del proyecto	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	4
<b>2. Estado del arte</b>	<b>5</b>
2.1. Aplicaciones de computación evolutiva: computación natural	6
2.2. Trading algorítmico	8
2.2.1. Análisis técnico del mercado	10
2.2.2. Análisis técnico Vs Análisis fundamental	12
2.2.3. Tendencias	13
2.2.4. Indicadores técnicos	14
2.2.5. Estrategias de trading	19
2.2.5.1. Estrategia de la tendencia	19
2.2.5.2. Estrategia de trading de rango	20
2.2.5.3. Estrategia de indicadores	21
2.2.5.3.1. Golden Cross o Cruce Dorado	21
2.2.5.3.2. Crossover o cruce	23
2.2.5.3.3. Death Cross o Cruce de la muerte	23
2.2.5.4. Estrategia de gráficos	24
2.2.5.5. Estrategias de volumen	25
2.2.5.6. Estrategia de Análisis de Múltiples Períodos	26
2.2.6. Microestructura del mercado	27



2.2.7. Ejecución de la operación o trade	28
2.2.8. Ventajas del trading algorítmico	29
2.2.9. Inconvenientes del trading algorítmico	31
2.3. Algoritmos genéticos	33
2.3.1. Introducción a los algoritmos genéticos	33
2.3.2. Características principales de los algoritmos genéticos	33
<b>3. Metatrader</b>	<b>35</b>
3.1. Introducción a Metatrader	35
3.2. Funcionalidades	35
3.3. Restricciones	38
<b>4. Ingeniería de Software</b>	<b>39</b>
4.1. Metodología del desarrollo software	39
4.2. Diseño del sistema	42
4.2.1. Casos de uso	42
4.2.2. Diagrama de clases	43
4.2.3. Flujo de actividad	44
4.2.4. Diagrama de secuencia	45
<b>5. Diseño de la solución técnica</b>	<b>46</b>
5.1. Introducción	46
5.2. Reglas establecidas para el algoritmo de trading	47
5.3. Parámetros de entrada al algoritmo de trading.	49
5.4. Indicadores utilizados	50
5.4.1. Media móvil	50
5.4.2. RSI – Relative Strength Index – Índice de Fuerza Relativa	50
5.5. Diseño del algoritmo genético	53
5.6. Codificación del algoritmo genético	58
<b>6. Experimentación, resultados y análisis.</b>	<b>59</b>
6.1. Método de Ventana Deslizante	59
6.2. Experimentación realizada	61



6.3. Resultados obtenidos	63
6.3.1. Resultados entrenamiento	63
6.3.1.1. Resultados de los genéticos	65
6.3.2. Resultado test	66
6.4. Análisis de los resultados atendiendo a los balances	69
6.5. Análisis de resultados con T-Test	70
<b>7. Conclusión y posibles mejoras.</b>	<b>72</b>
7.1. Conclusión	72
7.2. Posibles mejoras	73
<b>8. Marco regulador</b>	<b>75</b>
<b>9. Entorno socio-económico</b>	<b>77</b>
9.1. Presupuestos	77
9.2. Impacto socio-económico	78
<b>Abstract</b>	<b>80</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>
<b>Anexos</b>	<b>94</b>
Siglas	94
Definiciones	94



# Índice figuras

Ilustración 1: ejemplo indicador RSI. Fuente SelfBank.....	11
Ilustración 2: ejemplo tendencia simple. Fuente:SelfBank .....	13
Ilustración 3: ejemplo tendencia compleja. Fuente: SelfBank .....	13
Ilustración 4: tendencia Lateral. Fuente: SelfBank .....	14
Ilustración 5: ejemplo Oscilador. Fuente: SelfBank .....	16
Ilustración 6: ejemplo medias móviles. Fuente: SelfBank .....	17
Ilustración 7: indicador de volatilidad. Fuente: Metatrader indicators .....	18
Ilustración 8: indicador de volumen. Fuente:SelfBank .....	19
Ilustración 9: estrategia de rango. Fuente: binarias.org.....	21
Ilustración 10: ejemplo Golden Cross. Fuente: SelfBank .....	22
Ilustración 11: ejemplo Crossover. Fuente: SelfBank.....	23
Ilustración 12: ejemplo Death Cross. Fuente: SelfBank .....	24
Ilustración 13: ejemplo de banderín. Fuente: Investopedia.....	25
Ilustración 14: ejemplo estrategia de Volumen. Fuente: dailyfx.com.....	26
Ilustración 15: MQL5 .....	36
Ilustración 16: tiempo ejecución .....	36
Ilustración 17: probador de estrategias.....	37
Ilustración 18: visualizador de test .....	37
Ilustración 19: órdenes compra - venta .....	38
Ilustración 20: casos de uso Sistema Trading .....	42
Ilustración 21: diagrama clases .....	43
Ilustración 22: diagrama de secuencia.....	45
Ilustración 23: ciclo de genéticos. Fuente: [31] .....	53



Ilustración 24: cadena de bits de un gen. Fuente: [29] .....	54
Ilustración 25: tamaño población inicial .....	54
Ilustración 26: punto de cruce del genético .....	55
Ilustración 27: función de cruce .....	55
Ilustración 28: mutación del genético.....	55
Ilustración 29: resultado de cada generación del genético .....	56
Ilustración 30: pruebas optimización.....	57
Ilustración 31: transformación y conexión de entero a binario. Fuente: [29] .....	58
Ilustración 32: resultado optimización .....	65
Ilustración 33: gráfica optimización.....	65
Ilustración 34: test del mejor resultado del algoritmo genético .....	65



# Índice tablas

Tabla 1: spread: .....	28
Tabla 2: requisito 1 .....	39
Tabla 3: requisito 2 .....	39
Tabla 4: requisito 3 .....	40
Tabla 5: requisito 4 .....	40
Tabla 6: requisito 5 .....	40
Tabla 7: requisito 6 .....	40
Tabla 8: método Ventana Deslizante.....	60
Tabla 9: período entrenamiento .....	61
Tabla 10: entrenamiento octubre – marzo .....	63
Tabla 11: entrenamiento febrero - julio.....	64
Tabla 12: entrenamiento junio - noviembre .....	64
Tabla 13: test enero - marzo .....	66
Tabla 14: test abril - julio .....	67
Tabla 15: test agosto - noviembre .....	67
Tabla 16: test diciembre .....	68
Tabla 17: resultado test detallados .....	68
Tabla 18: balances medios.....	69
Tabla 19: Duración de las etapas.....	77
Tabla 20: Diagrama de Gantt .....	77
Tabla 21: Presupuestos detallados.....	78
Tabla 22: sliding window .....	82
Tabla 23: training period .....	83
Tabla 24: test period .....	83



Tabla 25: training period October - February .....	84
Tabla 26: training period January - June .....	84
Tabla 27: training period May - November.....	85
Tabla 28: test period January - March.....	86
Tabla 29: test period April - July.....	86
Tabla 30: test period August - November .....	87
Tabla 31: test period December.....	87
Tabla 32: detailed test results .....	88





# Capítulo 1

## 1. Introducción y objetivos.

### 1.1. Introducción

La revolución de la tecnología y en especial la transformación digital ha llegado también al ámbito de las operaciones bursátiles de tal manera de que lo que antes se hacía con llamadas telefónicas, actualmente se consigue automáticamente por medio de un robot de trading que analiza toda la información de mercado para realizar compra y venta de acciones en cuestión de milisegundos. Es tal la importancia de la rapidez con la que se realizan las operaciones, que, por ejemplo, en el mercado de valores de Reino Unido, las empresas están asentándose lo más cerca posible del centro financiero de Londres, que es donde se ejecutan todas las acciones de compra y venta, con objetivo de minimizar el tiempo de las operaciones que realizan.

Según muestran los datos, solo en España, hasta noviembre de 2016 se han realizado 50 millones de operaciones en bolsa moviendo un volumen de 693.921 millones de euros. [\[1\]](#)

No obstante, en este proyecto se va a trabajar con mercado de divisas, el mercado más grande que existe y que según los últimos datos [\[2\]](#), al día mueve una cantidad de 5.000 millones de dólares.

El objetivo de cualquier empresa es maximizar sus beneficios, lo que hace evidente que un mercado que mueve tal cantidad de dinero no pase desapercibido. Existen grandes equipos formados por personas con diferentes



cualidades En este ámbito se necesitan personas con conocimientos más técnicos que se dediquen a la programación, estadísticos y matemáticos que sean capaces de aportar datos sobre la evolución y tendencia de los mercados, así como gente con más conocimientos de finanzas y economía que sean capaces de entender los datos generados para finalmente tomar una decisión de compra, venta o mantenerse al margen.

Es pues necesaria la creación y optimización de agentes de bolsa que permitan obtener el máximo rédito de las inversiones a realizar.



## 1.2. Objetivos del proyecto

### 1.2.1. Objetivo general

El objetivo de este trabajo de fin de grado es la creación de un algoritmo que, basado en unas reglas concretas decida si comprar, vender o mantenerse al margen. Para ello se va a trabajar con distintos indicadores para los cuales se van a calcular sus valores para distintos períodos de tiempo. Las reglas consisten en realizar una acción determinada en función de los valores de los indicadores.

Los valores de los indicadores dependerán del período al que hagan referencia, es decir, no es lo mismo la media de un valor en las últimas 10 sesiones que en las últimas 50. El número de sesiones es lo que se conoce como período del indicador. El objetivo pues, es buscar los valores de estos períodos para los que el beneficio se maximiza. Esta optimización se hará durante un período de entrenamiento por medio de algoritmo genéticos [\[D5\]](#). Para una vez que se tengan los valores óptimos, aplicarlos en un período de test y finalmente determinar si con el algoritmo desarrollado se obtienen beneficios o no. Así como compararlo con la estrategia de Buy & Hold, es decir, comprar al inicio del período y vender al final del mismo. [\[3\]](#)

Esta aplicación de las reglas busca la maximización del beneficio para un período y depósito inicial determinados. Aun así, el empleo del algoritmo desarrollado no garantiza conseguir un balance positivo ya que puede ser que no funcione tan eficazmente en un período como lo haría en otro. En todo momento se conocerá cuando se han realizado las operaciones de compra y venta, siendo posible realizar dos o más acciones de compra seguidas sin realizar ninguna de venta, ya que puede ser que se den varias veces seguidas las condiciones de compra, pero las de venta no. Esta situación puede darse también en el otro sentido, que se venda varias veces seguidas sin que se compre. Al estar tratando con series de tipos de cambio (Forex), y en particular con Euro – Dólar Estadounidense (US\$), se puede comprar tantas veces como quieras Euro, lo que alzaría su valor; como vender Euro tantas veces como se desee, lo que le devaluaría frente al US\$.



### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Hacer un análisis de distintos elementos que intervienen en el trading algorítmico: indicadores, análisis técnico, métodos de optimización.
- Definir un algoritmo genético que optimice los parámetros.
- Determinar las reglas por las que se regirá el algoritmo de trading para operar.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Determinar si el algoritmo es suficientemente capaz de batir la estrategia de Buy & Hold (comprar al inicio del período y vender al final del mismo).



## Capítulo 2

### 2. Estado del arte

En primer lugar, hay que poner en contexto el tipo de tecnología que se va a usar y por qué.

La predicción, el modelado y el trading es cada vez un desafío más complicado porque en todos estos pasos intervienen una gran cantidad de factores que influyen directamente en el comportamiento del mercado. Por ello, hay un deseo de seguir desarrollando nuevas técnicas computacionales que ayuden a los inversores a entrar en el mercado con más garantías.

En los últimos años, han ido ganando fuerza los Algoritmos de Computación Natural.



## 2.1. Aplicaciones de computación evolutiva: computación natural

La computación natural se define como el desarrollo de programas y algoritmos que están inspirados en fenómenos del mundo natural. Normalmente se centran en entornos que sean dinámicos, al igual que los mercados financieros. Existen diferentes grupos de algoritmos de computación natural, en función de los aspectos del mundo natural a los que se refieren:

- Neuro computación: se basa en el funcionamiento del sistema nervioso humano. Algunos ejemplos son Perceptrón Multicapa [\[D6\]](#), redes neuronales artificiales, redes de base radial, entre otros.
- Computación evolutiva: se basa en los principios de evolución de Darwin. La solución de problemas se hace a partir de una población, y mediante búsqueda genética, encontrar el mejor resultado. Este el método que se va a utilizar en este trabajo para optimizar los resultados obtenidos tras la aplicación de la estrategia de trading con la intención de determinar qué valor de los parámetros de entrada son los mejores para maximizar el beneficio.

Las principales aplicaciones de la computación evolutiva en relación con las finanzas son:

- Optimización: mediante heurísticas como algoritmos genéticos, estrategias de evolución, entre otras.
- Inducción de modelos: consiste en conocer cómo son los datos que llevan a los resultados obtenidos en la optimización.
- Computación social: se inspira en el comportamiento de ir en grupo de los pájaros y los peces, así como de algunos insectos como por ejemplo las hormigas. Consiste en el análisis de las características comunes que comparten los grupos. Estos problemas se solucionan a partir de una población base.



- Computación inmunológica: están basadas en el sistema inmunológico de los seres vivos, tienen la característica de reconocer, destruir y recordar cualquier cuerpo. Este comportamiento es útil para problemas de clasificación y optimización como pueden ser posibles transacciones fraudulentas de tarjetas de crédito o identificación del estado del mercado.
- Computación física: inspirada en fenómenos físicos del mundo natural para diseñar algoritmos. Una posible aplicación es la mecánica cuántica.
- Computación gramática y de desarrollo: la computación gramática está inspirada en el concepto lingüístico de generación y formación de la gramática. Este tipo de programación está relacionada con la computación genética.



## 2.2. Trading algorítmico

Antes de comenzar a analizar el trading algorítmico y en particular su situación actual, hay que conocer qué es.

El trading algorítmico es un medio para ejecutar operaciones de mercado usando órdenes de compra-venta programadas y automatizadas de tal manera que una persona no tiene que estar continuamente pendiente de los valores que se dan en el mercado para realizar las operaciones si no que dependiendo de si se alcanzan unos valores u otros el sistema ejecuta las acciones inmediatamente.

Las primeras computadoras aparecen por primera vez en los mercados financieros a principios de los años 70 en la bolsa de Nueva York. Por su parte, la programación orientada a trading se establece ya de manera permanente en los años 80. En un principio su objetivo no era maximizar los beneficios a la hora de comprar o vender si no una forma de minimizar los costes, tiempo y riesgo a la hora de realizar las operaciones.

Pero con el transcurso de los años y la mejora de la tecnología, así como de un mercado más ambicioso, el trading algorítmico es el recurso principal para aquellos que buscan maximizar sus beneficios. Esto ha provocado la aparición de personas expertas en la materia que trabajan bien en su propio beneficio o bien que son contratadas por terceros (empresas, gobiernos, individuos) que les pagan por desarrollar determinados sistemas de trading que les permitan operar en el mercado.

Con el tiempo, el número de operaciones ejecutadas por los sistemas informáticos no ha hecho sino aumentar, se estima que, en el año 2010, la mitad de las operaciones en Estados Unidos, el 28% de las europeas y el 16% de las realizadas en Asia, eran ejecutadas por algoritmos de trading.

De esta manera, se crea la “*Algorithmic Traders Association*” con base en Delaware, Estados Unidos. Esta organización defiende los derechos de estos





profesionales, así como un lugar donde poder contactar con ellos para contratarles.

Como bien pone en su página principal: “son la única comunidad online dedicada a los traders profesionales que usa soluciones sistemáticas de trading.”

Es seguro que en los próximos años veremos la aparición de más organizaciones similares a esta en todo el mundo que luche por la unión de esta nueva clase de trabajadores así como de su representación ante otras entidades. [\[4\]](#)



Como ya se comentó anteriormente, consiste en el uso de programas de ordenador para la realización de operaciones de trading. Tienen en cuenta diferentes aspectos acerca de dichas operaciones, teniendo como factores principales período, precio y dinero.

A la hora de diseñar un algoritmo de trading hay que atender a las condiciones actuales del mercado y a las herramientas que vamos a usar para crear ese algoritmo. A continuación, se presenta cómo realizar ese estudio del mercado, los distintos elementos que van a participar en la creación del algoritmo, las estrategias que se siguen, la estructura del mercado y cómo se realizan las operaciones de trading. [\[6\]](#)



### **2.2.1. Análisis técnico del mercado**

En este apartado se va a explicar detalladamente en qué consiste el análisis técnico del mercado para el posterior desarrollo del algoritmo (conjunto de reglas) que mejor se adapte. Según estudios, las combinaciones de diferentes reglas dentro del análisis técnico llevan a una mayor rentabilidad que usando una sola regla [\[10\]](#) .

El análisis técnico es un método que se dedica a evaluar valores analizando las estadísticas generadas en el mercado durante un cierto período de tiempo. Estas estadísticas se centran en el estudio de la oferta [\[D1\]](#) y la demanda [\[D2\]](#). Este análisis busca la identificación de patrones que permitan pronosticar comportamientos futuros del mercado. En este trabajo se van a usar los indicadores técnicos para extraer la información del mercado.

Los indicadores técnicos van a permitir observar distintos tipos de datos obtenidos durante períodos anteriores. La información que devuelven los indicadores se puede interpretar de distintas maneras:

- En gráficas, de tal manera que permita conocer la información rápidamente:  
las tendencias pueden ser percibidas más fácilmente a través de gráficas.



*Ilustración 1: ejemplo indicador RSI. Fuente SelfBank*

- Como una serie de datos. Este es el método que se utiliza para interpretar los indicadores en este trabajo. Se van comparando cada uno de los elementos de una serie de datos con otros elementos de otra serie de datos, para determinar una acción. Así es como se forman las reglas.

Pero para entender completamente el análisis técnico, es necesario tener claro la presencia de 3 supuestos:

- El mercado toma todo por descontado: todos los parámetros acerca de la compañía están reflejados en el valor de las acciones. No se tiene en cuenta la opinión acerca de los valores, es decir, no importa si se piensa que un valor está sobrevalorado o infravalorado, lo único que importa y se tiene en consideración son las estadísticas anteriores acerca de ese valor. Por lo tanto, el único análisis posible es el del precio del mercado.
- Los valores se mueven en tendencias: cuando un valor ha empezado a seguir una tendencia, lo más posible es que siga en la dirección de ella y no en contra.



- Las tendencias suelen repetirse: se cree que en el mercado siempre se repiten los mismos comportamientos de tal manera que lo que hayan hecho en un momento determinado los traders, volverá a repetirse, así como las consecuencias derivadas de tales acciones, esto es lo que se conoce como tendencia. Es por ello que es fundamental conocer las tendencias, así como percibir que están volviendo a darse para así emprender las acciones correspondientes para adelantarse y sacar el máximo rendimiento.

Si se predicen correctamente los datos futuros se llega a una maximización del beneficio, que es el objetivo principal del trading. En el análisis técnico también se puede incluir como medida a tener en cuenta el volumen de las operaciones realizadas en el mercado, aunque en este trabajo sólo se valoran las reglas y los valores devueltos por los indicadores. [\[7\]](#)

### **2.2.2. Análisis técnico Vs Análisis fundamental**

En contraposición con el análisis técnico se encuentra el análisis fundamental, que tiene un enfoque más global y se centra en los apartados financieros exclusivamente (beneficios, activos y obligaciones) [\[8\]](#).

- El análisis fundamental analiza todos los factores relativos a la empresa para calcular su valor intrínseco mientras que el técnico analiza solo los valores del mercado.
- Análisis fundamental para inversiones a largo plazo, el técnico es más usado para compra y venta a corto y medio.

### 2.2.3. Tendencias

Es fundamental dejar claro qué son las tendencias y cómo interpretarlas, pues a partir de ellas se harán las interpretaciones correspondientes para formular el algoritmo de trading.



*Ilustración 2: ejemplo tendencia simple. Fuente:SelfBank*

Es evidente que en la gráfica se observa una tendencia ascendente, en este caso, es muy sencillo deducirlo, pero normalmente no suele ser tan fácil:



*Ilustración 3: ejemplo tendencia compleja. Fuente: SelfBank*

En esta gráfica se observan 5 tendencias ascendente y 2 descendente, lo ideal sería vender en cada uno de las cotas superiores, es ahí donde radica la dificultad de llevar a cabo una estrategia de trading adecuada.

A parte de las tendencias ascendentes y descendentes, existe una tercera, conocida como tendencia lateral, se da cuando no hay grande diferencia entre las cotas superiores e inferiores:



*Ilustración 4: tendencia Lateral. Fuente: SelfBank*

## 2.2.4. Indicadores técnicos

Un indicador técnico es un cálculo matemático basado en una serie de datos del precio histórico o volumen del mercado con el objetivo de producir otra serie de datos que será analizada para establecer reglas de trading o simplemente para observar tendencias.

Seguidamente, se presenta una introducción a los indicadores técnicos para posteriormente explicar detalladamente los escogidos para aplicar la reglas que



forman el algoritmo de trading así como una explicación razonada de su elección.

[\[15\]](#)

En primer lugar, resaltar que no existen indicadores que sean mejores ni peores, cada trader debe decidir cuáles quiere usar y son potencialmente más útiles para la intención de cada uno. Existen distintos tipos de indicadores que permiten centrarse en distintos aspectos del mercado según la necesidad. Los 3 tipos de indicadores técnicos que se usan en el mercado son los siguientes:

- **Osciladores:** comparan los precios a lo largo del tiempo. Normalmente se suele comparar los precios de cierre de una sesión con los precios de cierre de sesiones anteriores. A partir de este concepto se pueden establecer multitud de reglas de trading. Los osciladores suelen utilizarse cuando se da una tendencia lateral en el mercado, es decir, no se aprecia una dirección ascendente ni descendente. Para ello se presenta el indicador entre una cota superior y otra inferior, de tal manera que cuando se rebasa alguna de ellas, puede ser indicativo de una señal de compra o venta. Ejemplos de osciladores son los indicadores Momentum, Relative Strength Index (RSI o Índice de Fuerza Relativa) y Estocástico, entre muchos otros. [\[14\]](#)



*Ilustración 5: ejemplo Oscilador. Fuente: SelfBank*

En la anterior imagen se observa que se lanzan señales cada vez que se cruza alguna de las cotas, tanto inferior como superior.

- **Indicadores de tendencia:** tratan de identificar tendencias y determinar su fortaleza. Estos indicadores analizan los precios a lo largo del tiempo para determinar medias. Permiten obtener gráficas que suavizan los picos de los precios al estar tratando con medias para distintos períodos, de tal manera que localizar tendencias es más sencillo. Indicadores de este tipo son Moving Average (MA o Medias Móviles), Moving Average Convergence Divergence (MACD o Media Móvil Convergente Divergente) y Average Directional Index (ADX o Índice de Media Direccional) que sirve para medir la fuerza de una tendencia.





*Ilustración 6: ejemplo medias móviles. Fuente: SelfBank*

En la gráfica anterior observamos el índice SP500, junto con dos medias móviles, la línea negra es la media de las últimas 50 sesiones mientras que la azul es de las últimas 25 sesiones. La primera de ellas es menos sensible a los cambios pues tiene en cuenta más datos que la segunda. Como se comentó anteriormente, muestran líneas suavizadas que permiten determinar con mayor facilidad las tendencias del mercado.

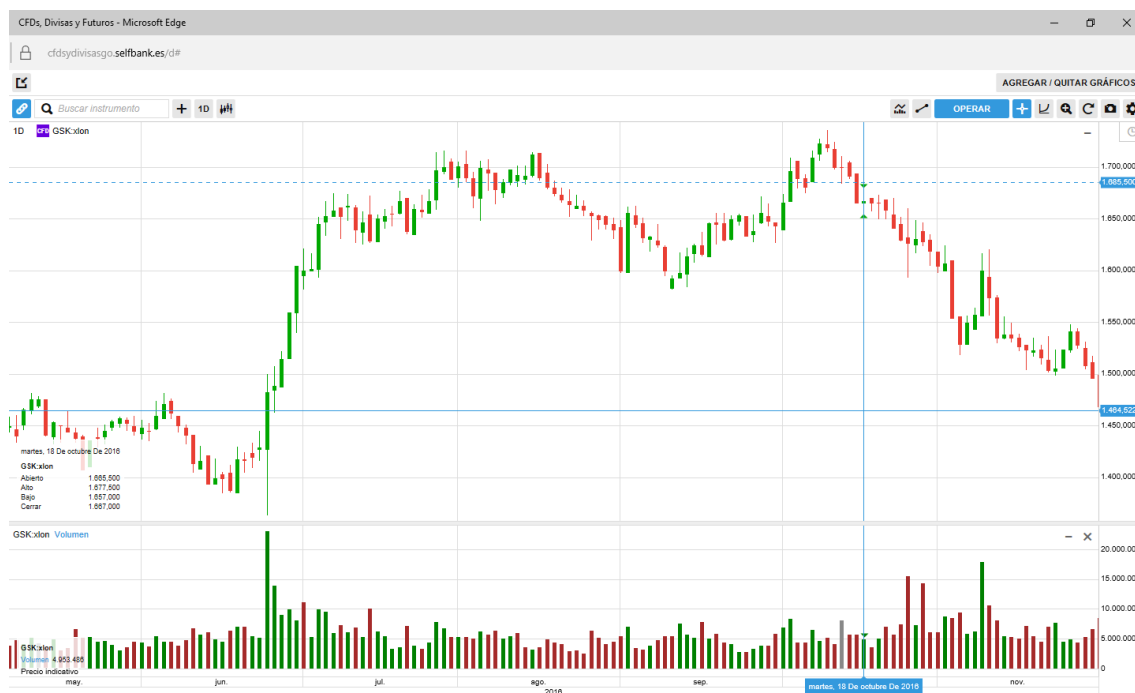
- **Indicadores de volatilidad:** como su propio nombre indica, son una medida de la cantidad y velocidad a la que cambian las cotizaciones, sin tener en consideración la dirección. Estos indicadores proporcionan la información para saber cuánto puede tardar un valor en cambiar de dirección para establecer el momento justo en el que llevar a cabo alguna operación. Algunos indicadores de este tipo son las Bandas de Bollinger, las Bandas del Keltner, entre otros.



*Ilustración 7: indicador de volatilidad. Fuente: Metatrader indicators*

En la gráfica anterior se muestra cuánto varía la cotización del Euro-US\$ y la velocidad a la que lo hace.

- **Indicadores de volumen:** muestran para cada momento la cantidad de dinero movido para un valor en concreto, esto es, la suma del dinero de las compras y las ventas. Estos indicadores muestran la salud de un valor, ya que cuanto más volumen haya, significa que mayor es la confianza para operar con ese valor. Aunque no siempre esto quiere decir que sea un buen momento para operar, ahí radicará la habilidad del trader junto con el uso de otros indicadores para determinar si entrar o salir del mercado. Algunos ejemplos de indicadores de este tipo son Volumen en Balance o Acumulación/Distribución.



*Ilustración 8: indicador de volumen. Fuente:SelfBank*

En esta gráfica se muestra el volumen de dinero involucrado en cada hora del día, así como la cotización actual del valor.

## 2.2.5. Estrategias de trading

Una vez conocidos todos los elementos que intervienen en el trading, se necesita conocer las distintas estrategias, para después analizarlas y así poder sacar las reglas que mejor convengan para crear el algoritmo de trading. En este caso, al estar centrados en el mercado de divisas, las estrategias son algo diferentes a lo que lo son en un índice tipo Ibex 35. A continuación se presentan las estrategias más comunes que se aplican y usan mundialmente en el mercado de divisas [\[11\]](#).

### 2.2.5.1. Estrategia de la tendencia

Consiste en operar en función de la dirección en la que se mueve el mercado. Hay que tener bastante cautela a la hora de interpretar la tendencia en Forex, ya que esta no se mueve en línea recta si no que es un conjunto de oscilaciones.



Como ya se comentó anteriormente en el apartado dedicado a la tendencia (2.2.3), existen tres tipos de tendencia: ascendente, descendente y lateral.

Si el algoritmo a emplear utiliza únicamente la estrategia de la tendencia, la recomendación a seguir es la siguiente:

- Comprar cuando la tendencia es ascendente.
- Vender cuando la tendencia es descendente.
- No entrar al mercado cuando la tendencia es lateral.

#### **2.2.5.2. Estrategia de trading de rango**

Esta estrategia se desarrolla cuando no se da una tendencia ascendente o descendente clara, sino que es la tendencia lateral la que predomina. Por ello, es de prever que los valores que se alcancen no varíen demasiado. La clave principal para desarrollar correctamente esta estrategia es determinar la cota superior e inferior absolutas que se consigan, también conocidas como niveles de soporte y de resistencia respectivamente. Esta diferencia entre el nivel de soporte y el de resistencia se conoce como rango de trading.

La recomendación para operar bajo esta estrategia es la siguiente:

- Comprar cuando el valor se acerque a la línea de soporte.
- Vender cuando el valor se acerque a la línea de resistencia
- Si el valor cruza el nivel de resistencia o soporte, es posible que se ocasionen pérdidas.



*Ilustración 9: estrategia de rango. Fuente: binarias.org*

### **2.2.5.3. Estrategia de indicadores**

Como ya se recalcó previamente en el apartado de indicadores (poner el número del apartado), los indicadores reflejan datos históricos del precio y el volumen de los valores. Analizando estos datos, se puede determinar los momentos más convenientes para operar en el mercado. Existen gran cantidad de indicadores, previamente ya se explicaron todos los tipos y algunos ejemplos de cada uno de ellos.

Existen distintos tipos de estrategias cuando se analizan indicadores:

- **Divergencia:** se produce cuando el precio del valor y el indicador se mueven en direcciones opuestas.
- **Cruces:** se da cuando dos indicadores se cruzan o cuando se cruza un indicador con el precio del valor. Existen distintos tipos de cruces que son detallados a continuación [\[12\]](#)

#### **2.2.5.3.1. Golden Cross o Cruce Dorado**

Esta estrategia compara el valor del indicador para un período corto y para un período largo. El Golden Cross se produce concretamente cuando el período corto es de 25 sesiones y el período largo de 200 sesiones. Habría que obtener los datos de la media móvil corta, 50 sesiones, y de la media móvil larga, 100

sesiones. La media corta va a ser más sensible que la larga, por lo tanto, tendrá más picos en su gráfica que la larga.

Esta estrategia está compuesta por 3 etapas:

- La primera de ellas es que una tendencia descendente llegue a su punto más bajo.
- La media corta comienza a ascender y cruza a la larga y la supera.
- Por último, confirmar que la tendencia continúa siendo ascendente.

Por lo tanto, la recomendación para operar bajo esta estrategia es la siguiente:

- Comprar cuando la media corta supere a la larga.



*Ilustración 10: ejemplo Golden Cross. Fuente: SelfBank*

Esta estrategia no sirve únicamente para las medias móviles si no que se puede usar también para otros indicadores, sobre todo los osciladores, como pueden ser el estocástico, MACD o RSI. Especialmente en estos últimos determina con bastante precisión cuando entrar y salir del mercado.

Aun así, existen más estrategias de este tipo aparte del cruce dorado, es decir, no tiene porqué ser el período corto de 50 sesiones y el largo de 200 sesiones. Es

más, en este trabajo se va a tratar de optimizar los valores de estos períodos para determinar cuáles de ellos son los más beneficiosos para la estrategia de trading diseñada.

#### 2.2.5.3.2. Crossover o cruce

Se da cuando un indicador se cruza con el precio del mercado. Se utiliza principalmente para predecir valores futuros. Existen múltiples interpretaciones en función del tipo de cruce. Los más comunes son los cruces de medias móviles y cruces de indicadores estocásticos. A continuación, se muestra un ejemplo del cruce de la media móvil simple con el precio del valor.



*Ilustración 11: ejemplo Crossover. Fuente: SelfBank*

#### 2.2.5.3.3. Death Cross o Cruce de la muerte

Es justo lo contrario que el Golden Cross y tiene su nombre de la forma de X que se aprecia en la gráfica cuando se produce esta situación. Al igual que en el Cruce Dorado, se tienen dos medias móviles, una de ellas corta y la otra larga.

El Cruce de la muerte se da cuando la media corta cruza hacia abajo a la media larga, lo que puede ser augurio del comienzo de una tendencia descendente, y con ella, las pérdidas.

Por lo tanto, la recomendación a seguir cuando se da esta situación es la de vender.

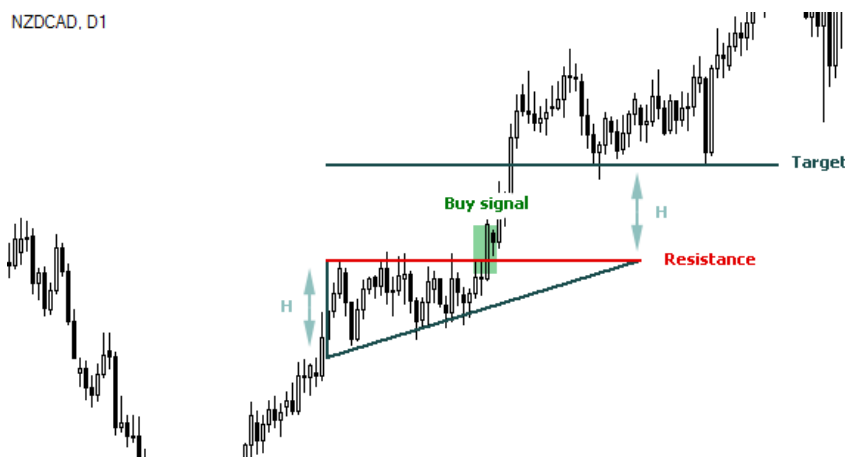


*Ilustración 12: ejemplo Death Cross. Fuente: SelfBank*

#### 2.2.5.4. Estrategia de gráficos

Consiste en analizar el mercado a través de observar las gráficas de los precios históricos de los valores. En las gráficas se pueden mostrar los datos de multitud de maneras distintas: lineal, velas barras, puntos, figuras, entre otros. Las figuras más comunes para realizar un análisis del mercado y así definir la estrategia son las siguientes: triángulos, banderas, banderín, cuña, rectángulo, cabeza y hombros, doble fondo y doble techo, triple fondo y triple techo.





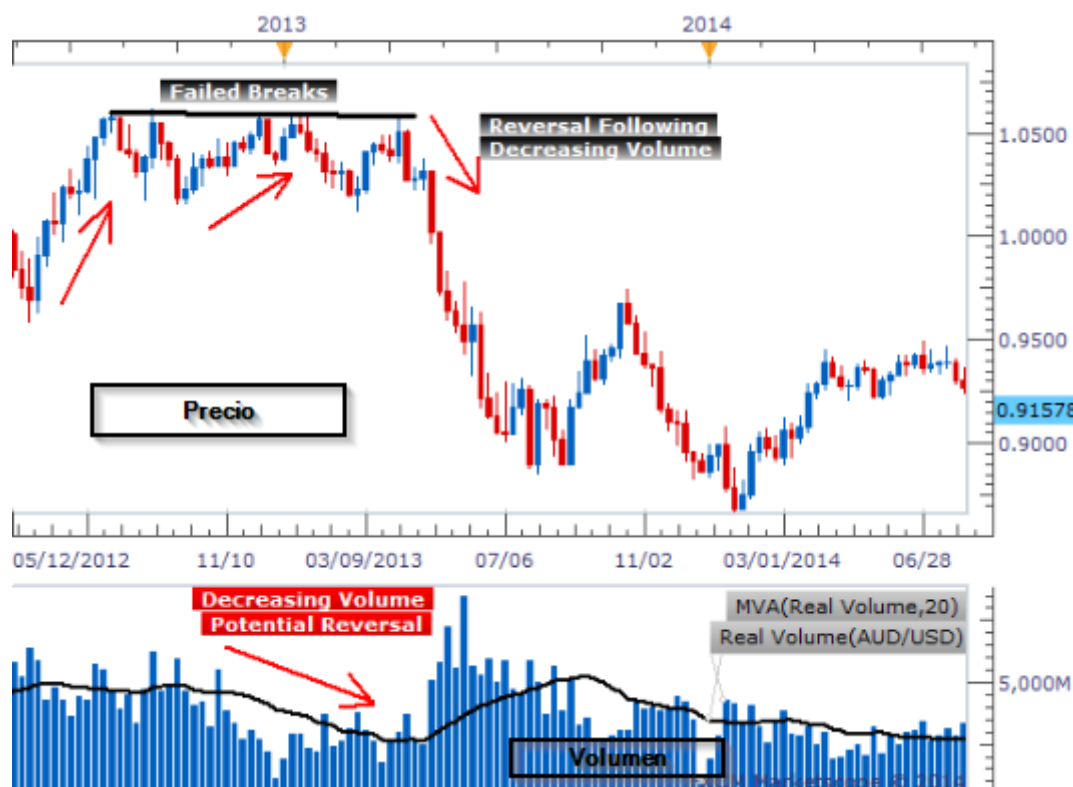
*Ilustración 13: ejemplo de banderín. Fuente: Investopedia*

Se puede observar como a partir de un análisis gráfico, se decide que operación llevar a cabo.

#### **2.2.5.5. Estrategias de volumen**

Consiste en derivar una estrategia a partir de la cantidad de dinero que se mueve en el mercado, con otras palabras, la cantidad de activos que se compran y se venden. El volumen de dinero puede ser indicativo de la tendencia del mercado. Las interpretaciones principales que se hacen en función del volumen del mercado son las siguientes:

- Si un valor está en una cota baja y su volumen empieza a subir significativamente, suele ser indicativo del comienzo de una tendencia ascendente.
- Si un valor está en tendencia ascendente y su volumen comienza a decaer, puede ser indicativo de que pronto alcanzará una cota máxima y por lo tanto una tendencia descendente está cerca.



*Ilustración 14: ejemplo estrategia de Volumen. Fuente: dailyfx.com*

En la gráfica anterior se observa que justo antes de la bajada significativa de precio, ya el volumen del mercado había disminuido, lo que hacía intuir una tendencia descendente próxima.

#### **2.2.5.6. Estrategia de Análisis de Múltiples Períodos**

Consiste en analizar el precio del mercado para distintos períodos de tiempo, para posteriormente poner todos en conjunto y así poder establecer cuál es la tendencia general del mercado.

La forma más común de proceder con esta estrategia es comenzar con períodos cortos de tiempo (minutos, horas) para posteriormente seguir con los más amplios (días, semanas, meses).

Esta estrategia es algo más compleja ya que requiere unos conocimientos más amplios del mercado que las anteriores.



### 2.2.6. Microestructura del mercado

Para operar hay que tener en cuenta la estructura del mercado y los diferentes modos en los con los que los inversores pueden interactuar con el mercado.

Existen dos tipos de operaciones en trading:

- Orden de mercado: la operación es realizada inmediatamente al precio actual del mercado.
- Orden límite: la operación se realiza si el precio del mercado llega a una cota determinada, de otra manera, no se realiza ninguna acción.

Con el segundo tipo de operación cabe la posibilidad de que haya una serie de operaciones ya fijadas para ejecutar a ese precio y no existe una fiabilidad absoluta de que la operación se vaya a efectuar correctamente al precio fijado.

En la experimentación llevada a cabo **en este trabajo se utiliza el trading de orden de mercado.**

En la actualidad los mercados operan bajo un procedimiento que se conoce como “Subasta doble de límite” que consiste en listar todas las operaciones de compra y venta ordenadas, de tal manera que la diferencia entre las dos primeras muestra el “spread” [\[D4\]](#).

Se verá claramente en la siguiente tabla:

Antes de explicar la información recogida en esta tabla, hay que definir los términos BID y ASK.

BID es el precio al cual está el mercado dispuesto a comprar, por lo tanto, el precio al que se puede vender.

ASK es el precio al que el mercado está dispuesto a vender.

**TABLE 1** Sample order book for a stock with volume (measured in 100s) and price information for bid and ask.

BID	VOL	PRICE	PRICE	VOL	ASK
	33	132.19	132.20	18	
	13	132.18	132.21	21	
	34	132.17	132.22	24	
	6	132.16	132.23	14	
	10	132.14	132.24	9	
	7	132.13	132.25	1	

*Tabla 1: spread:*

Se muestran en orden en función del mayor spread. Existe un volumen de 3300 acciones que quieren ser compradas a 132.19, mientras que hay 1800 acciones que están dispuestas a ser vendidas a 132.20. Las operaciones están mostradas con un límite de precio, es decir, podría ser que se quisiesen comprar 4000 acciones, pero solo se muestra que hay 3300 acciones para comprar, lo que quiere decir que hay parte del volumen del mercado que está oculto.

A partir de las prácticas relatadas en el párrafo anterior, surge un nuevo tipo de forma de mercado conocida como “Dark pools” o Piscinas Oscuras. [6] Consiste en que cuando una orden llega a la dark pool, el mercado desconoce su volumen o precio lo que evita que otros conozcan cuál es la intención del inversor.

### **2.2.7. Ejecución de la operación o trade**

Lo que han permitido las operaciones del mercado por medio de sistemas informáticos ha sido la sustitución de una operación con gran volumen, en múltiples operaciones de menos volumen, de tal manera que el comportamiento de determinados inversores sea menos predecible ya que el mercado se altera de manera más clara cuando el volumen de las operaciones es grande. Esto también provoca un mayor riesgo de las operaciones, ya que el precio del mercado va a ir variando para las distintas operaciones que se realicen.

La única aproximación notable que se ha hecho para optimizar los trades ha sido por parte de Lim y Coggins [13] mediante el uso de algoritmos genéticos.



Esta aproximación consistía en dividir una orden en  $N$  órdenes cuya suma es igual a la orden inicial. Cada orden se asociaba con el mejor precio BID del momento actual, el objetivo era optimizar el tiempo en el que debía ejecutarse cada orden para así obtener el spread más alto y maximizar el beneficio.

### 2.2.8. Ventajas del trading algorítmico

Una vez entendido el concepto de trading algorítmico, habría que plantear si es tan útil como se presupone. Se ha dicho que su objetivo principal es maximizar el beneficio de las compras en el mercado financiero, aun así, se presentan diferentes pros y contras. [\[5\]](#)

En primer lugar, aspectos positivos del trading algorítmico:

- Se suprime la parte emocional a la hora de realizar operaciones ya que todas ellas son realizadas por un ordenador. En otras palabras, si un operador de bolsa ve que un índice lleva muchas sesiones bajando, el ímpetu puede llevarle a realizar una operación de compra ya que piensa que va a subir. Con algoritmos, el sistema decide si hay que llevar a cabo la operación en función de todos los datos que maneja. Pero también se puede dar la situación contraria, es decir, el miedo a llevar a cabo una acción que debe realizarse, pero el factor humano lo impide por miedo.
- Disciplina. El algoritmo siempre llevará a cabo la operación todas las veces que se dé una situación determinada mientras que un humano no siempre tendrá controladas todas las situaciones que harán de un momento en particular, un momento único para comprar o vender y cuyas consecuencias no serán las mismas si se hace en un instante en concreto o en otro.
- Rapidez. Los algoritmos permiten la ejecución de operaciones prácticamente de manera instantánea donde cada segunda cuenta en un mercado en el que se mueve una cantidad de dinero inmensa. Esta

característica ha provocado la aparición de lo que se conoce como “*High Frequency Trading*”, que consiste en la realización de operaciones en un período mínimo de tiempo. Es decir, se compra, y en cuestión de milisegundos se vende, lo que provoca una renta muy escasa pero que se suple con la realización de millones de operaciones de este tipo. Según datos proporcionados por el grupo TABB, este tipo de operaciones supusieron un beneficio de más de 21.000 millones de dólares en el año 2009.

- **Diversificación.** Esta característica es fundamental, pues permite a una persona llevar a cabo distintas estrategias de mercado. Lo que supone que una persona que no use trading algorítmico, en un momento dado solo puede realizar una operación mientras que, con algoritmos programados, para un mismo instante se pueden realizar ilimitado número de operaciones. De tal manera que combinando todas las estrategias se puede alcanzar un beneficio más alto, o en el peor de los casos, minimizar las pérdidas.
- **Backtesting.** Es posible reconstruir lo que ha ocurrido anteriormente a partir de datos históricos. Es decir, se pueden analizar cuáles han sido las consecuencias de realizar una determinada operación dada una situación en concreto, para de esta manera, cuando en el futuro se den las mismas circunstancias, volver a hacer lo mismo en caso de que el resultado fuera satisfactorio o bien cambiar de estrategia si con anterioridad no funcionó. La optimización en este trabajo actuará bajo este principio, es decir, analizar el pasado durante un período de entrenamiento, para posteriormente en un período no entrenado o de test, ver cómo reacciona la estrategia desarrollada.



### 2.2.9. Inconvenientes del trading algorítmico

Por otro lado, el uso de trading algorítmico también supone una serie de inconvenientes que es conveniente analizar.

- Ya que estamos hablando de tecnología, ésta siempre puede incluir fallos de tal manera que, si existe algún error en el programa, éste puede empezar a lanzar órdenes de manera descontrolada que provocarían unas consecuencias fatales. Por otro lado, si no es el programa lo que falla y es la conexión a Internet lo que se pierde, puede darse el caso de que no se realicen operaciones en un momento exacto, lo que provocaría más pérdidas. Una táctica útil cuando se empiezan a usar sistemas de trading es emplear bajas cantidades de dinero hasta que se compruebe durante un período que el sistema es fiable y que cuando estemos operando con cantidades mayores no falle.
- Sobre-optimización. Si se pretende que el sistema aprenda muchas estrategias puede darse un sobre-aprendizaje que provoque que diseñe determinadas estrategias que no son viables en la vida real y por lo tanto no tendría ninguna utilidad.
- Requiere un conocimiento muy técnico para su funcionamiento. Es necesaria una formación muy especializada ya que requiere tanto conocimientos sobre programación como de finanzas y sólo escasas personas inmersas en el mercado de valores pueden tener ambas aptitudes.
- Si se programa un algoritmo, este no va a funcionar eternamente para todas las circunstancias que se den en el futuro, lo que provoca que hay que seguir el mercado para analizar las circunstancias y darse cuenta de que el algoritmo ya no es efectivo y que por lo tanto hay que cambiarlo.

En conclusión, atendiendo a los pros y contras del uso del trading algorítmico se puede decir que es una herramienta muy útil en la mayoría de los casos pero que no puede sustituir por completo al trading manual, ya que necesitan de una



monitorización continua, así como que siempre hay riesgo de fallo del sistema mientras estos trabajan.





## 2.3. Algoritmos genéticos

El algoritmo genético diseñado y probado en este trabajo serán mostrados en los capítulos de diseño y resultados respectivamente, aun así, en este apartado se muestra una visión general de ellos así como sus principales características.

### 2.3.1. Introducción a los algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos fueron inventados en 1975 por John Holland, quién los explicó en su libro “Adaptación en sistemas naturales y artificiales” y los presentó como una heurística basada en la “supervivencia del más fuerte”.

Como ya se recalcó en el apartado [2.1](#), pertenecen a la familia de la computación evolutiva, a continuación, se explica con detalle qué son y su funcionamiento.

El objetivo principal de los algoritmos genéticos es buscar la **mejor solución** dentro de un conjunto de posibles soluciones a partir de la idea de la supervivencia del más fuerte en el mundo natural, presentada por el científico inglés Charles Darwin. [31]

### 2.3.2. Características principales de los algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos tienen 3 características principales:

- Son estocásticos, es decir, arbitrarios o aleatorios, los procesos de selección y reproducción de soluciones no están fijados por alguna regla si no que lo hacen aleatoriamente. En el caso de este trabajo, cuando se proceda a la optimización de los parámetros en un período determinado, los resultados obtenidos normalmente serán distintos cada vez que se ejecute.
- Consideran una población de soluciones. Existe más de una solución que puede ser buena, y mediante la combinación de alguna de ellas, se puede llegar a las mejores soluciones.
- Para la resolución de determinados tipos de problemas sus resultados son muy satisfactorios, mientras que, para otro tipo de problemas, fracasan de manera estrepitosa, pero la característica común de ambos casos, es que



no se suele conocer con certeza porque ha fallado o porque ha sido exitoso  
[\[26\]](#).



## Capítulo 3

### 3. Metatrader

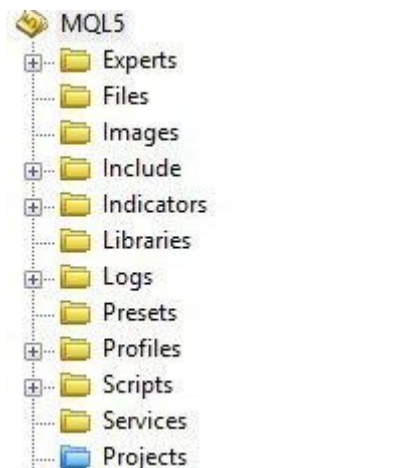
#### 3.1. Introducción a Metatrader

Es la herramienta elegida para el desarrollo del trabajo. El motivo de empleo de este programa es su capacidad para obtener datos históricos del mercado, así como el uso de gráficas que permiten entender fácilmente esos datos, que, combinadas con una serie de funcionalidades, hacen de Metatrader un programa muy completo para todo lo relacionado con el trading y las finanzas.

#### 3.2. Funcionalidades

Metatrader incluye una gran cantidad de funcionalidades tales como lanzar señales cuando se den unas circunstancias, lanzar una orden de compra o venta, analizar en tiempo real los mercados, entre otras. Las funcionalidades que van a estar presentes en este trabajo son las siguientes:

- Editor del lenguaje MetaQuotes5, es el lenguaje por defecto de Metatrader, muy similar a Java, se basa en la programación orientada a objetos. Existen diferentes tipos de archivos que se pueden crear con este lenguaje, los principales son asesores expertos, indicadores personalizados y script. En este caso el objetivo es desarrollar un asesor experto donde implementar las reglas de trading y lanzar órdenes de compra y venta. A su vez, Metatrader incluye un amplio abanico de librerías, tales como indicadores, objetos de trading, símbolos, operaciones matemáticas. A continuación, se muestra el navegador de este editor de lenguaje MetaQuotes:



*Ilustración 15: MQL5*

- Probador de estrategias: esta herramienta permite la ejecución del código desarrollado en el editor. Antes de ejecutar hay que ajustar los parámetros (período, divisa, depósito inicial, modo de ejecución) en función de lo que nos interese. En cuanto a los modos de ejecución, hay tres tipos diferentes que conviene explicar. [\[23\]](#)
  - Todos los ticks: tiene en cuenta todos los ticks del mercado, es decir, en décimas de segundo. Es la forma más precisa para hacer cálculos, pero a la hora de realizar pruebas es absolutamente inviable pues el tiempo de cálculo requerido es muy elevado (casi dos días por prueba realizada).
  - Solo precios de apertura: emplea los valores de apertura de cada día para el valor solicitado. Es muy rápido, tarda apenas 10 segundos, pero los resultados que proporciona no son nada precisos.
  - 1 minute OHLC: utiliza los valores obtenidos en cada minuto. Es algo menos preciso que el método de todos los ticks pero el tiempo de cálculo que necesita es factible, alrededor de una hora por prueba. Por lo tanto, ha sido el método escogido para la experimentación dada su buena relación calidad/tiempo.

optimization done in 52 minutes 26 seconds

*Ilustración 16: tiempo ejecución*

El probador de estrategias tiene por tanto la siguiente estructura:

Expert	Exp_RSI.ex5	EURUSD	Daily
Date:	Custom period	2016.06.01	2016.09.01
Forward:	No	2017.03.31	
Execution:	Without Delay	1 minute OHLC	
Deposit:	5000	EUR	1:100
Optimization:	Fast genetic based algorithm	Balance max	Visualization <input checked="" type="checkbox"/>

*Ilustración 17: probador de estrategias*

- Optimización de resultados: Metatrader ofrece la posibilidad de incluir algoritmos genéticos para optimizar los parámetros de entrada que utilizada la regla de trading. El diseño del algoritmo genético aquí utilizado se explica con detalle en el capítulo de [diseño de la solución](#).
- Visualizador de testing: aquí se muestra las gráficas de la cotización del símbolo en cuestión a lo largo del tiempo, indicando a qué precio se compra y se vende en función de la estrategia seguida, así como las gráficas de los distintos indicadores que se quieran mostrar.



*Ilustración 18: visualizador de test*

Para un período dado se muestra el precio del Euro – Dólar US (línea verde). A su vez, sobre esta línea aparecen unas flechas rojas (orden de venta) y flechas azules (orden de compra).

A continuación, un ejemplo de cómo Metatrader deja constancia de estas órdenes de compra y venta, así como el balance que se obtiene al final del período en cuestión.

2016.04.28 00:00:30	instant buy 1.00 EURUSD at 1.13279 (1.13195 / 1.13279 / 1.13199)
2016.04.28 00:00:30	deal #6 buy 1.00 EURUSD at 1.13279 done (based on order #6)
2016.04.28 00:00:30	deal performed [#6 buy 1.00 EURUSD at 1.13279]
2016.04.28 00:00:30	order performed buy 1.00 at 1.13279 [#6 buy 1.00 EURUSD at 1.13279]
2016.04.28 00:00:30	CTrade::OrderSend: instant buy 1.00 EURUSD at 1.13279 [done at 1.13279]
2016.04.28 00:00:30	Buy -> true. Result Retcode: 10009, description of result: done at 1.13279
2016.04.30 00:59:59	position closed due end of test at 1.14500 [#6 buy 1.00 EURUSD 1.13279]
2016.04.30 00:59:59	deal #7 sell 1.00 EURUSD at 1.14500 done (based on order #7)
2016.04.30 00:59:59	deal performed [#7 sell 1.00 EURUSD at 1.14500]
2016.04.30 00:59:59	order performed sell 1.00 at 1.14500 [#7 sell 1.00 EURUSD at 1.14500]
final balance 6889.33 EUR	

#### *Ilustración 19: órdenes compra - venta*

Para finalizar, señalar que Metatrader trata el mercado de divisas, también conocido como Forex [\[2\]](#), y el mercado de valores (Nasdaq, Ibex35, entre muchos más) [\[D4\]](#). En este trabajo se va a trabajar con el Euro-US\$ como las monedas a estudiar.

Todas estas funcionalidades son las que convierten a MetaTrader en una de las plataformas de trading más usadas mundialmente.

### **3.3. Restricciones**

MetaTrader ofrece la posibilidad de utilizar una versión de prueba gratuita o bien una de pago. En este caso, no se querían más gastos y se restringe el uso del programa a la versión gratuita de prueba.

Para la realización de las pruebas del algoritmo, es decir, las operaciones de compra y venta que se realicen, se usará dinero ficticio, ya que no se garantiza que el algoritmo vaya a conseguir beneficios siempre que se use. Esta aclaración se debe a que MetaTrader, como plataforma, permite el uso de dinero real.



## Capítulo 4

### 4. Ingeniería de Software

En este apartado se presenta la metodología seguida para el desarrollo del código, así como los diagramas de clases que permitan entender como las clases interactúan entre ellas. Como ya se comentó anteriormente, el lenguaje utilizado ha sido MQL5 y se basa en la programación orientada a objetos.

#### 4.1. Metodología del desarrollo software

La metodología seguida para el desarrollo del trabajo aquí presentado ha sido en cascada. La característica principal de este proceso es que una etapa no puede comenzar hasta que la anterior no ha concluido.

A continuación, se presentan las etapas que se han seguido, así como explicación de lo realizado en cada una de ellas.

##### 1) Análisis de requisitos del software:

ID:001	
Requisito	El sistema debe ser capaz de obtener datos de indicadores para establecer reglas de trading
Prioridad	Esencial

*Tabla 2: requisito 1*

ID:002	
Requisito	El programa debe ser capaz de optimizar por medio de algoritmos genéticos los parámetros de entrada
Prioridad	Esencial

*Tabla 3: requisito 2*



ID:003	
Requisito	El programa debe permitir la creación de un robot de trading.
Prioridad	Esencial

*Tabla 4: requisito 3*

ID:004	
Requisito	El programa debe permitir la utilización de librerías.
Prioridad	Esencial

*Tabla 5: requisito 4*

ID:005	
Requisito	El programa debe permitir la ejecución del algoritmo para distintas situaciones (períodos, tipo de ejecución, divisa).
Prioridad	Esencial

*Tabla 6: requisito 5*

ID:006	
Requisito	El sistema debe permitir realizar pruebas con dinero ficticio.
Prioridad	Esencial

*Tabla 7: requisito 6*

- 2) Diseño del sistema: esta parte se corresponde con los diagramas de clase, que son detallados en el punto 4.2.
- 3) El diseño del programa se especifica en el [punto 6](#).





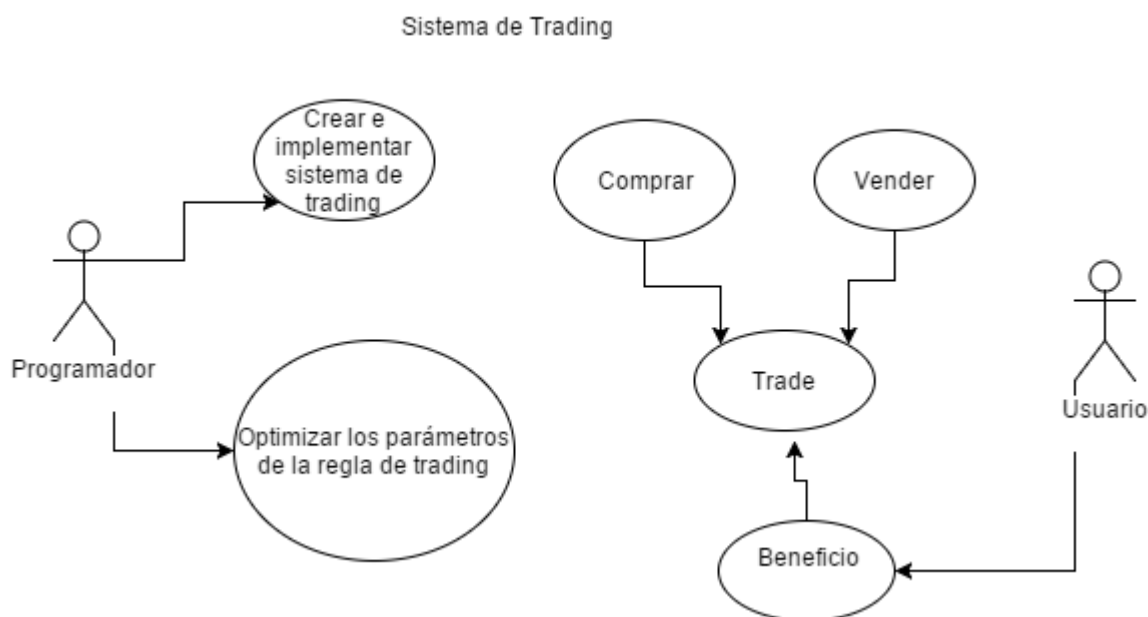
- 4) Codificación: se programa lo diseñado en el apartado anterior.
- 5) Prueba: se comprueba que lo codificado funciona correctamente.
- 6) Verificación: en este caso, la fase de verificación no se realiza porque el objetivo de ella es la prueba por parte del usuario final del sistema desarrollado.
- 7) Mantenimiento: esta fase tampoco se realiza debido a la ausencia de un usuario final que haya solicitado el desarrollo del sistema.

## 4.2. Diseño del sistema

A continuación, se presentan todos los elementos que intervienen para el correcto diseño del sistema, como son el diagrama de casos de uso, diagrama de clases, flujo de actividad y diagrama de secuencia.

### 4.2.1. Casos de uso

Primeramente, es necesario especificar una serie de casos de usos, para ello se valoran dos perspectivas: la del programador y la del usuario final que utilizará el sistema con fines de operar en bolsa.

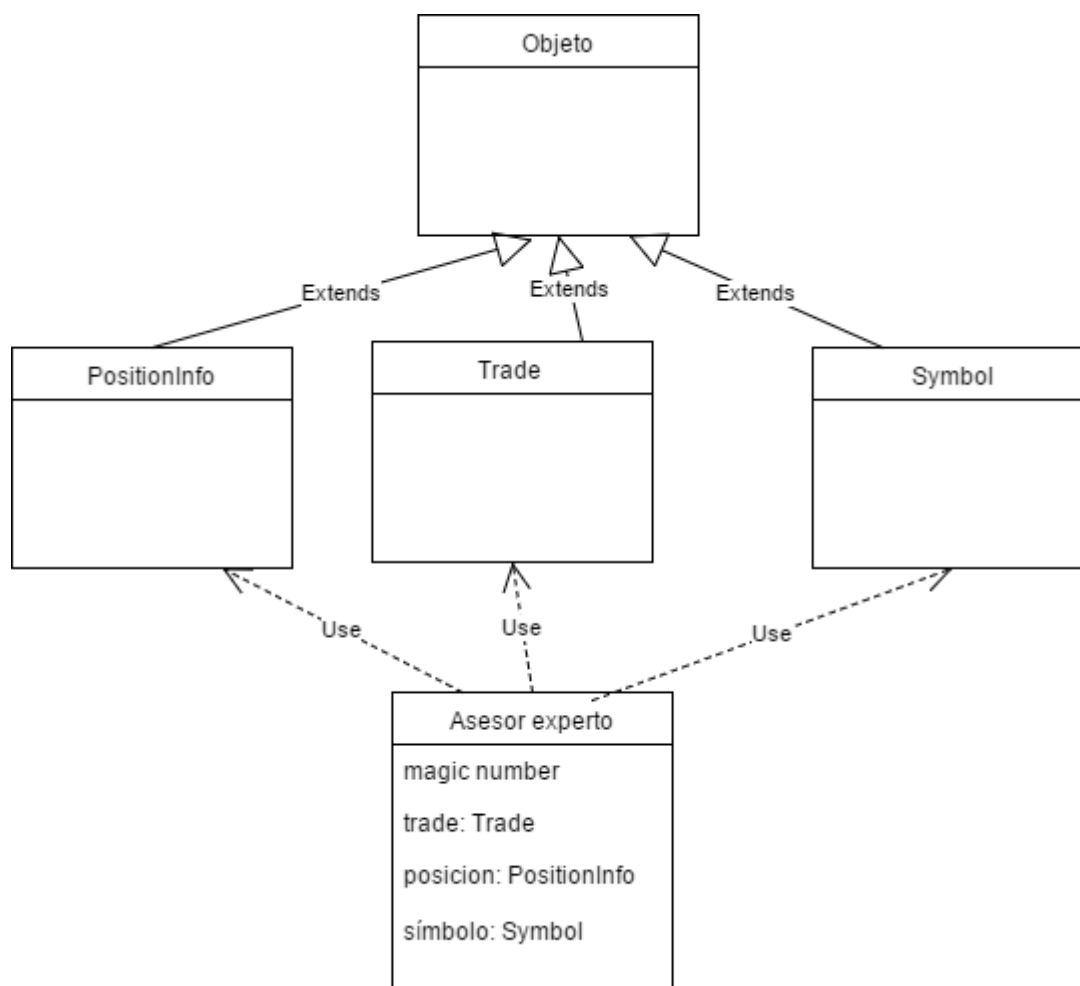


*Ilustración 20: casos de uso Sistema Trading*

Como se observa en la ilustración anterior, el desarrollador se encarga de implementar todo el sistema de trading y hacerlo funcional, así como de determinar la forma en que la optimización se va a realizar. Mientras que el usuario, que en principio será un inversor o especialista en trading, analiza el comportamiento del mismo desde una perspectiva financiera.

#### 4.2.2. Diagrama de clases

Como ya se comentó anteriormente, se va a utilizar programación orientada a objetos. Aquí se presenta el diagrama de clases que permite conocer cómo se estructuran las diferentes clases para hacer funcional el sistema de trading.



*Ilustración 21: diagrama clases*

En el diagrama anterior, PositionInfo se encarga de devolver la información acerca de las posiciones abiertas y cerradas, es decir, las compras y las ventas que se realicen. Trade tiene acceso a las funciones de trading (compra y venta). Por último, Symbol tiene las propiedades del símbolo con el que se trabaja.



A parte de las clases aquí mostradas, existen más que permiten modificar el funcionamiento de los asesores expertos, pero en este caso, las utilizadas son las aquí presentadas.

Destacar que el asesor experto hace uso de una librería donde se encuentran los cálculos matemáticos que procesan los valores de los indicadores. Aquí se incluirán pues los cálculos de las medias móviles y del RSI, que serán los indicadores presentes en la regla de trading.

#### **4.2.3. Flujo de actividad**

En el apartado de Metatrader se explicó que se necesita utilizar un archivo tipo asesor experto. Este archivo trae tres funciones por defecto, que son OnInit, OnDeinit y OnTick.

- La función OnInit se ejecuta nada más inicializar el asesor experto, en nuestro caso, se han incluido la inicialización de los manejadores de los indicadores que permitirán ir guardando en buffer los valores de los mismos a lo largo del tiempo.
- La función OnTick, se activa cada vez que pasa un tick de tiempo, para actualizar los valores de los indicadores. Es donde se incluyen las reglas establecidas que comprueban si se dan o no las condiciones para ejecutar alguna orden.
- La función OnDeinit se llama justo antes de acabar el programa.

#### 4.2.4. Diagrama de secuencia

En este apartado, se presenta un diagrama de secuencia que permite conocer las funciones a las que se va accediendo a lo largo de la ejecución del asesor experto.

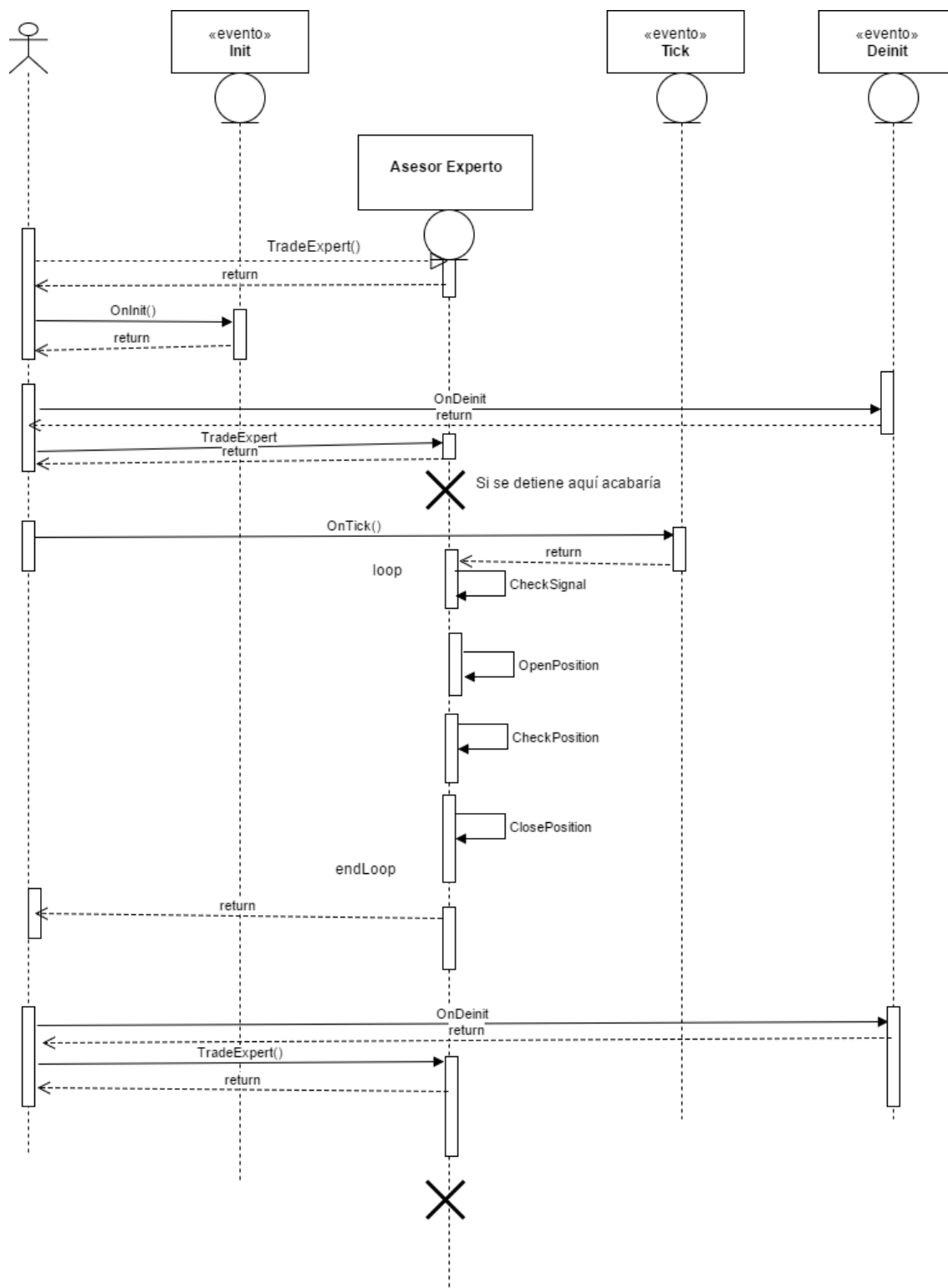


Ilustración 22: diagrama de secuencia



## Capítulo 5

### 5. Diseño de la solución técnica

#### 5.1. Introducción

Como ya se ha explicado en apartados anteriores, el objetivo es diseñar un algoritmo de trading, que, en función de los valores de indicadores sobre un valor, decida si hay que comprar, vender o no hacer ninguna de las dos acciones.

Dentro de la solución técnica, también puede incluirse el [algoritmo genético](#) utilizado, pero se ha considerado la creación de un capítulo aparte exclusivo para el algoritmo genético.

No se debe confundir en ningún momento el algoritmo de trading con el algoritmo genético, si bien el primero incluye las reglas que determinan cuándo lanzar las órdenes de compra y venta, el último se encarga de optimizar los parámetros que produce como resultado el algoritmo de trading.

Cabe destacar que el algoritmo de trading puede estar bien diseñado pero los resultados que se obtienen tras operar en el mercado no produzcan ningún beneficio y por el contrario nos encontremos con pérdidas.

El estudio se va a hacer sobre el par de divisas Euro – US\$.

## 5.2. Reglas establecidas para el algoritmo de trading

Tras analizar todas las principales estrategias de trading que se dan en el mercado analizadas en el punto 2.2.5, se decide seguir una tendencia basada en indicadores, pues MetaTrader ofrece la posibilidad de obtener sus datos de manera sencilla además de mostrarlos en gráficas para identificar tendencias y ver en qué momento concreto se realizan las operaciones de compra y venta.

En concreto la estrategia combina las siguientes condiciones:

- **Comprar** cuando se dé el Goldencross\* de las medias móviles y el Goldencross\* del RSI [\[S2\]](#).
- **Vender** cuando se dé el Deathcross\* de las medias móviles y el Deathcross\* del RSI [\[S2\]](#)

\*Estrategias Goldencross y Deathcross explicadas en los puntos 2.2.5.3.1 y 2.2.5.3.3 respectivamente.

Por lo tanto, tras la combinación de las condiciones anteriores, el algoritmo de trading que se desarrolla sigue las siguientes reglas:

- **Comprar** cuando se dé el **Goldencross** de medias móviles y RSI conjuntamente.
- **Vender** cuando se dé el **Deathcross** de medias móviles y RSI conjuntamente.
- **No entrar en el mercado** si no se dan ninguna de las dos condiciones anteriores.

En este caso ya se puede hablar de reglas, mientras que anteriormente se hablaba de condiciones, estas reglas están formadas por la combinación de dichas condiciones.



A continuación, se explica con términos más comunes el funcionamiento de la estrategia de trading:

- **Comprar** cuando la media móvil de período corto cruce hacia arriba a la media móvil de período largo y el RSI de período corto cruce hacia arriba al RSI de período largo, reglas que indican el más que probable inicio de una tendencia ascendente.
- **Vender** cuando la media móvil de período corto cruce hacia abajo a la media móvil de período largo y el RSI de período corto cruce hacia abajo al RSI de período largo, lo que indica el más que probable inicio de una tendencia descendente y con ella un gran riesgo de pérdidas.
- **No operar** si no se da ninguna de las dos reglas anteriores.

El origen de estas reglas es de las fuentes señaladas en el apartado de estrategias, como ya se expone con anterioridad, los cruces de medias móviles y RSI estiman con bastante exactitud los momentos adecuados para entrar y salir del mercado.

El algoritmo que se va a utilizar pertenece a la familia de los conocidos como BlackBox Algorithms [\[25\]](#), también llamados algoritmos de ganancia-pérdida. Se trata de realizar operaciones de compra-venta a partir de señales lanzadas cuando se dan determinadas circunstancias en búsqueda de oportunidades de negocio, cada vez que esas condiciones determinadas se dan, el algoritmo compra o vende de manera instantánea.

En definitiva, se van a usar 4 indicadores, para cada uno de ellos habrá que obtener sus datos históricos para los períodos establecidos, y determinar qué acción llevar a cabo a partir de lo que las reglas dictaminen según los datos recogidos por los indicadores.





### **5.3. Parámetros de entrada al algoritmo de trading.**

Los parámetros de entrada están establecidos antes de iniciar la ejecución del algoritmo y por lo tanto son los que, en cierta manera, van a determinar el funcionamiento del mismo.

En este trader, los parámetros de entrada van a estar formados por el conjunto de los períodos de los indicadores especificados en el apartado anterior:

- Período media móvil corta.
- Período media móvil larga.
- Período RSI corto.
- Período RSI largo.

Estos 4 parámetros de entrada son los que se van optimizar por medio de algoritmos genéticos para maximizar el rendimiento de las operaciones en bolsa.



## 5.4. Indicadores utilizados

Como ya se explicó en el punto 2.2.4. los indicadores devuelven datos a partir de cálculos matemáticos sobre las cotizaciones anteriores de un valor determinado.

A continuación, se explican matemáticamente los indicadores utilizados para la creación de las reglas de trading definidas en anteriormente.

### 5.4.1. Media móvil

La media móvil e define como “cálculo para analizar un conjunto de datos para crear series de promedio” [\[19\]](#). Por lo tanto, una media móvil es una lista en la que cada número es un promedio de datos.

En este caso, se utiliza la media móvil simple, que es la media aritmética de las  $n$  sesiones anteriores.

Por lo tanto, si se va a utilizar una media larga de  $n$  sesiones y una media corta de  $m$  sesiones, siempre se va a cumplir  $n > m$ . La media larga va a tener una adaptación lenta, es decir, va a ser más difícil observar cambios en ella ya que tiene en cuenta un conjunto mayor de datos. Todo lo contrario que la media móvil de período más corto.

### 5.4.2. RSI – Relative Strength Index – Índice de Fuerza Relativa

Este oscilador de Momentum es muy popular, fue desarrollado por J. Welles Wilder [\[22\]](#) y mide con eficacia la velocidad y los cambios de precio. La fórmula matemática que se utiliza para su cálculo es la siguiente:

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS}$$

*Formula RSI*

Donde RS es el ratio de promedio de subidas / promedio de bajadas.

*Ecuación 1: fórmula RSI*

Antes de explicar el funcionamiento de la fórmula, destacar que Wilder determinó que el número de períodos más conveniente para calcular el RSI es de 14. En el algoritmo propuesto en este trabajo, al estar utilizando un RSI de período corto y otro de período largo, el primero de ellos se establecerá por debajo de 14 y el último por encima. De esta manera, y tras aplicar la optimización por algoritmos genéticos, se determinará cuáles son los períodos ideales del RSI para nuestros casos concretos.

Para calcular el ratio de subida (RS) , hay que seguir los siguientes pasos: [\[20\]](#)

- Calcular la media de las subidas: sumar las subidas que se han producido de una sesión a otra y hacer su media aritmética.
- Calcular la media de las bajadas: sumar las bajadas que se han producido de una sesión a otra y hacer su media aritmética.
- Dividir la media de las subidas entre la media de las bajadas.

$$\text{Media subidas} = \frac{0,03 + 0,05 + 0,2 + 0,03}{9} = 0,034$$

$$\text{Media bajadas} = \frac{0,07 + 0,15 + 0,02}{9} = 0,027$$

$$RS = 0,034 / 0,027 = 1,29$$

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + 1,29} = 56,36$$

*Ecuación 2: ratio subida - bajada*



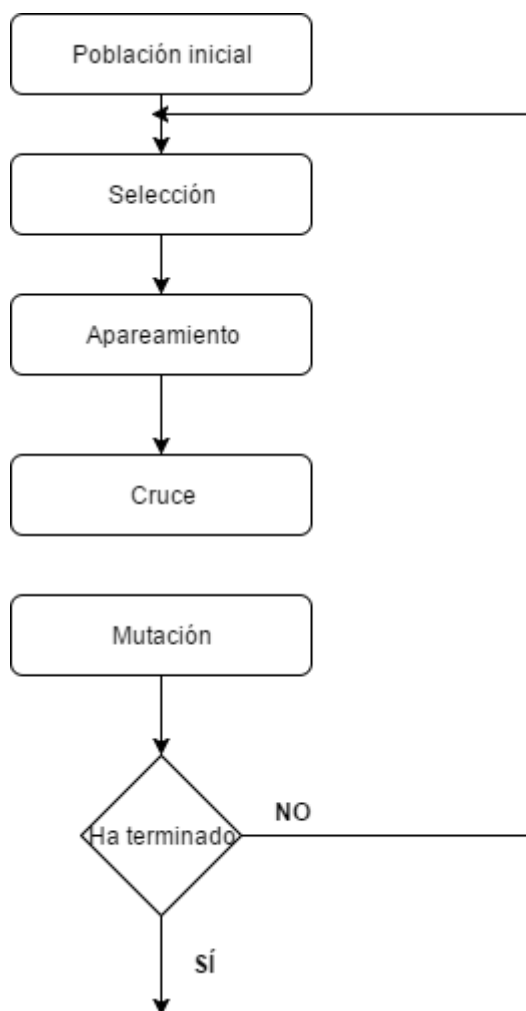
En el ejemplo anterior, se divide entre 9 porque el período del RSI para este caso es 9.

En el algoritmo desarrollado en este trabajo se ha decidido hacer un cruce RSI de período largo y de período corto, aunque normalmente el RSI suele aplicarse de otra manera. Wilder consideró que cuando el RSI es mayor de 70, entra en una situación de sobrecompra, es decir, no hay que comprar porque es más que probable que el inicio de una tendencia descendente esté cercano. Por otro lado, cuando el valor del RSI es menor de 30, entra en una zona conocida como sobreventa, es decir, no hay que vender porque es más que probable el inicio de una tendencia ascendente.

## 5.5. Diseño del algoritmo genético

Antes de comenzar con el funcionamiento, destacar y recordar que el **criterio por el cual se va a regir el algoritmo genético es el de maximizar el beneficio en un período dado**. Los parámetros que se van a optimizar para conseguir tal maximización son los períodos de los indicadores, es decir, **números enteros**.

Los algoritmos genéticos tienen el siguiente ciclo de funcionamiento, que se repite constantemente hasta que el algoritmo finaliza.



*Ilustración 23: ciclo de genéticos. Fuente: [\[31\]](#)*

A continuación, se explica detalladamente en qué consiste cada uno de los pasos que se muestran en la ilustración anterior, así como la forma específica en la que ejecuta el algoritmo genético en este proyecto. [\[27\]](#) [\[28\]](#)

- **Inicialización o población inicial:** es conjunto de soluciones candidatas del problema a resolver. El conjunto de los valores de una solución es un gen, de forma que cada gen en computación es una cadena de bits con los valores 0 ó 1. Por ejemplo, una posible población inicial está formada por un conjunto de genes. Cada uno de estos genes se representa de la siguiente manera, en forma de cadena de bits:

rsi corto	rsi largo	mv corta	mv larga
5	15	30	70
0 0 0 1	0 1 1 1	0 1 0 1	0 1 1 1
GEN			

*Ilustración 24: cadena de bits de un gen. Fuente: [29]*

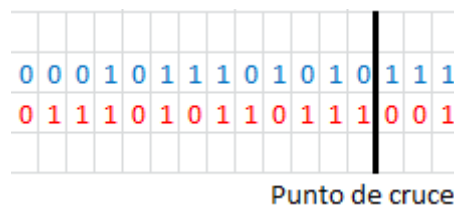
La población inicial del algoritmo genético aquí empleado, es una cadena de bits de longitud 64.

Tester size of initial task batch is 64

*Ilustración 25: tamaño población inicial*

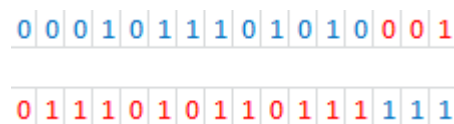
- La siguiente fase es la de **selección**: consiste en seleccionar conjuntos de genes de acuerdo a su valor de la función de fitness. Esta función de fitness consiste en determinar cuánto de buena es una solución. En este caso, la función de fitness es el rendimiento económico, el algoritmo genético se encargará de maximizar esa función. El método elegido para la selección es el de **torneo**, que funciona de la siguiente manera. De entre todos los posibles genes, se seleccionan tres aleatoriamente, finalmente, para elegir el padre, de los tres elegidos anteriormente se coge el que tenga mejor función de fitness. [30]
- El tercer paso, consiste en la **cruce**. Una vez que se tienen los genes seleccionados en la fase anterior en función de su satisfacción de la función de fitness, el objetivo es crear nuevas poblaciones para llegar a más posibles soluciones. La función de cruce elegida es la basada en el

punto de cruce. Para ello hay que aparear dos genes y elegir un punto de cruce, posteriormente se cruzan y se obtienen dos genes hijo, producto del cruce de los genes padre:



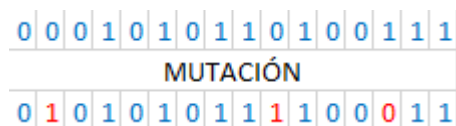
*Ilustración 26: punto de cruce del genético*

Cruzando los genes padres en ese punto, los genes hijos que se producen son los siguientes:



*Ilustración 27: función de cruce*

- El último paso del loop de la ejecución del algoritmo es la **mutación**. Consiste en elegir unos bits de la cadena del gen de manera al azar, en el caso de este proyecto, serán 3 bits. Para los bits elegidos, se cambian sus valores, con el objetivo de explorar nuevos posibles genes que produzcan posibles mejores soluciones que las encontradas hasta el momento.



*Ilustración 28: mutación del genético*

- Cada ejecución de todos estos pasos definidos anteriormente, se conoce como generación. El objetivo último de cada generación es presentar una población de genes mejor que la de la anterior, que servirá como población inicial a la siguiente generación. Ahora bien, hay que determinar un número máximo de generaciones para que los cálculos del

algoritmo no se extiendan de más en el tiempo. Metatrader permite probar un mínimo de 15 generaciones, hasta un máximo de 31. Si a partir de la generación 15, el resultado de una generación no mejora a la de la anterior, se establece un criterio que es: (número de generaciones ya probadas / 3) = x. De tal manera que, si durante las próximas x generaciones no se mejora el resultado, la simulación finaliza. Es lo que se conoce como número de generaciones necesarias para estimar la convergencia. Se muestra un ejemplo:

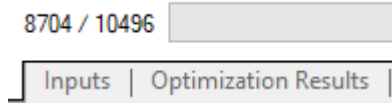
Tester	Best result 11236.88 produced at generation 0. Next generation 1
Tester	Best result 11454.56 produced at generation 1. Next generation 2
Tester	Best result 11454.56 produced at generation 1. Next generation 3
Tester	Best result 12082.14 produced at generation 3. Next generation 4
Tester	Best result 13122.76 produced at generation 4. Next generation 5
Tester	Best result 13122.76 produced at generation 4. Next generation 6
Tester	Best result 13122.76 produced at generation 4. Next generation 7
Tester	Best result 13803.09 produced at generation 7. Next generation 8
Tester	Best result 13803.09 produced at generation 7. Next generation 9
Tester	Best result 13803.09 produced at generation 7. Next generation 10
Tester	Best result 13803.09 produced at generation 7. Next generation 11
Tester	Best result 13803.09 produced at generation 7. Next generation 12
Tester	Best result 13803.09 produced at generation 7. Next generation 13
Tester	Best result 13873.53 produced at generation 13. Next generation 14
Tester	Best result 13873.53 produced at generation 13. Next generation 15
Tester	Best result 14538.57 produced at generation 15. Next generation 16
Tester	Best result 14538.57 produced at generation 15. Next generation 17
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 18
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 19
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 20
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 21
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 22
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 23
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 24
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 25
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 26
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 27
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 28
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 29
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 30
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 31
Tester	Best result 14766.91 produced at generation 17. Next generation 32
Tester	genetic calculation is over

*Ilustración 29: resultado de cada generación del genético*





En la generación 17 se obtiene el mejor resultado y ya no se vuelve a superar, por lo tanto, la simulación se detiene y no todas las pruebas se realizan:



*Ilustración 30: pruebas optimización*

## 5.6. Codificación del algoritmo genético

Los algoritmos genéticos se pueden codificar para solucionar tres principales tipos de problemas: [32]

- Selección de subconjuntos.
- Secuenciación
- Estimación de parámetros

En este caso, el tipo de problema a solucionar es de estimación de parámetros. A continuación, se explican las directrices que hay que seguir para su correcta creación:

- 1) Transformar los parámetros de enteros a forma binaria.
- 2) Conectar todos los binarios de los parámetros para crear un gen:

rsi corto	rsi largo	mv corta	mv larga
5	15	30	70
0 0 0 1 0	1 1 1 1 0	1 0 1 0 1	0 1 1 1 1
GEN			

*Ilustración 31: transformación y conexión de entero a binario. Fuente: [29]*

Una vez se tiene creado, hay que usarlo de la manera adecuada para conseguir resultados:

- 1) Crear la población inicial, esto es, un conjunto de genes.
- 2) Empezar el funcionamiento del algoritmo (Figura 16).

Una vez se realiza la mutación, volver a la selección y dependiendo del valor de la función de fitness, seleccionar los mejores parámetros.



## Capítulo 6

### 6. Experimentación, resultados y análisis.

El método utilizado para llevar a cabo la batería de pruebas para obtener los resultados, es el de **ventana deslizante**. Este método será explicado a continuación.

Las pruebas se llevan a cabo en una herramienta que Metatrader tiene incorporado que se conoce como [probador de estrategias](#). Esta funcionalidad permite aplicar el programa desarrollado para un período cualquiera en una divisa también a definir.

#### 6.1. Método de Ventana Deslizante

Consiste en aplicar el algoritmo en un período de entrenamiento para obtener los valores óptimos de los parámetros de entrada, para más tarde usar esos valores obtenidos en un período posterior y comprobar que el algoritmo consigue unos valores que en un futuro puedan reportar beneficios.

Es decir, para un período dado, Metatrader, ejecuta distintos valores de los parámetros de entrada y por medio del algoritmo genético utilizado, permite optimizar esos valores para determinar con cuáles de ellos se obtiene el mayor beneficio.

Una vez que la ejecución y optimización han finalizado, proceso que tarda alrededor de una hora por cada prueba, se guardan los valores de los parámetros de entrada: período rsi corto, período rsi largo, período media móvil corta y período media móvil larga. Para en un período posterior al de entrenamiento, también conocido como período de test, utilizar los valores óptimos obtenidos en el período de entrenamiento y determinar si se consigue algún beneficio con el empleo del algoritmo.



A continuación, se muestra una imagen para comprender mejor en qué consiste la experimentación por medio del método de ventana deslizante.

2015			2016				
Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Primer período entrenamiento			Primer período test				
	Segundo período entrenamiento			Segundo período test			
		Tercer período entrenamiento			Tercer período test		
		Cuarto período entrenamiento				Cuarto período test	
			ASÍ SUCESIVAMENTE HASTA DICIEMBRE ÚLTIMO TEST				

*Tabla 8: método Ventana Deslizante*

## 6.2. Experimentación realizada

La experimentación realizada ha tenido en cuenta los siguientes períodos de entrenamiento y test:

- Los períodos de entrenamiento son de 3 meses, teniendo como el primero de ellos 1 de octubre de 2015 – 31 de diciembre de 2015. El siguiente sería 1 de noviembre de 2015 – 31 de enero de 2016. Así sucesivamente hasta 1 de septiembre de 2016 – 30 de noviembre de 2016. Para estos períodos se guarda los valores óptimos de los parámetros de entrada, así como el beneficio que se obtendría de haberlos usado en esos períodos.

	RSI CORTO	RSI LARGO	MV CORTA	MV LARGA	BENEFICIO
Octubre - Diciembre	33	338	90	93	10882
Octubre - Diciembre	33	338	90	91	10882
Octubre - Diciembre	33	338	90	91	10882
Octubre - Diciembre	33	338	90	91	10882
Octubre - Diciembre	33	338	90	91	10882
Noviembre - Enero	32	256	89	314	9098,14
Noviembre - Enero	17	91	84	101	9112,6
Noviembre - Enero	33	257	81	88	8509,08
Noviembre - Enero	20	338	86	109	9628
Noviembre - Enero	21	339	86	109	8617
Diciembre - Febrero	21	339	48	73	15025.94
Diciembre - Febrero	21	339	47	71	14706
Diciembre - Febrero	19	337	48	70	15431
Diciembre - Febrero	19	337	47	67	15466
Diciembre - Febrero	20	338	48	68	15991

Tabla 9: período entrenamiento

- Los períodos de test son de 1 mes, el primero de ellos sería enero de 2016, utilizando como parámetros de entrada los resultados optimizados del período de entrenamiento 1 de octubre de 2015 – 31 de diciembre de 2015. El siguiente período de test sería febrero, utilizando los valores optimizados del entrenamiento 1 de noviembre de 2015 – 31 de enero de 2016. Así con todos los meses hasta el último de ellos que sería diciembre de 2016, con el entrenamiento 1 de septiembre 2016 – 30 noviembre 2016. Para estos períodos, la información que se guarda es el beneficio o la pérdida obtenida, así como la cotización del valor al principio y al final del período.



Recalcar que la ejecución de cada período de entrenamiento para la obtención de los parámetros óptimos por medio de algoritmos genéticos dura alrededor de una hora. Se han realizado 5 ejecuciones para cada período para tener la máxima información posible y estar más seguros a la hora de afirmar o negar si un período es bueno para invertir o no.

El ordenador empleado para las pruebas utiliza un sistema operativo Windows 10 y un procesador Intel Core i-5 @ 3.2 GHz.

### 6.3. Resultados obtenidos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los períodos de entrenamiento, que van a devolver los valores óptimos de los parámetros de entrada para esos períodos y que posteriormente son usados como parámetros en la fase de test. A su vez también se muestra la forma en la que el genético devuelve los resultados con los parámetros que maximizan el beneficio para cada período de entrenamiento.

#### 6.3.1. Resultados entrenamiento

En estos resultados de período de entrenamiento, conviene comentar algunos aspectos. El primero de ellos es que existen períodos que, para todas las ejecuciones realizadas, los valores obtenidos han sido idénticos, por ejemplo, para el primer de ellos (octubre – diciembre de 2015). Sin embargo, para otros períodos, como junio – agosto de 2016, los valores que se obtienen son muy dispares.

	RSI CORTO	RSI LARGO	MV CORTA	MV LARGA
Octubre - Diciembre	33	338	90	93
Octubre - Diciembre	33	338	90	91
Octubre - Diciembre	33	338	90	91
Octubre - Diciembre	33	338	90	91
Octubre - Diciembre	33	338	90	91
Noviembre - Enero	32	256	89	314
Noviembre - Enero	17	91	84	101
Noviembre - Enero	33	257	81	88
Noviembre - Enero	20	338	86	109
Noviembre - Enero	21	339	86	109
Diciembre - Febrero	21	339	48	73
Diciembre - Febrero	21	339	47	71
Diciembre - Febrero	19	337	48	70
Diciembre - Febrero	19	337	47	67
Diciembre - Febrero	20	338	48	68
Enero - Marzo	15	225	47	75
Enero - Marzo	15	226	47	77
Enero - Marzo	13	119	41	67
Enero - Marzo	13	119	47	75
Enero - Marzo	14	120	48	76

Tabla 10: entrenamiento octubre – marzo



	RSI CORTO	RSI LARGO	MV CORTA	MV LARGA
Febrero - Abril	9	111	43	68
Febrero - Abril	38	188	42	67
Febrero - Abril	11	221	45	73
Febrero - Abril	9	65	44	72
Febrero - Abril	9	220	43	71
Marzo - Mayo	53	158	68	107
Marzo - Mayo	11	66	31	45
Marzo - Mayo	55	159	35	47
Marzo - Mayo	30	252	76	117
Marzo - Mayo	60	163	34	45
Abril - Junio	12	146	37	50
Abril - Junio	20	145	36	45
Abril - Junio	88	366	35	47
Abril - Junio	89	367	37	49
Abril - Junio	39	357	36	47
Mayo - Julio	13	145	40	46
Mayo - Julio	14	146	38	45
Mayo - Julio	15	293	41	50
Mayo - Julio	14	146	41	51
Mayo - Julio	13	145	43	56

Tabla 11: entrenamiento febrero - julio

	RSI CORTO	RSI LARGO	MV CORTA	MV LARGA
Junio - Agosto	20	284	44	68
Junio - Agosto	20	286	45	71
Junio - Agosto	13	179	44	63
Junio - Agosto	16	389	45	76
Junio - Agosto	9	384	63	91
Julio - Septiembre	9	381	61	308
Julio - Septiembre	9	381	79	104
Julio - Septiembre	9	381	80	105
Julio - Septiembre	9	381	85	109
Julio - Septiembre	10	45	63	270
Agosto - Octubre	43	180	88	109
Agosto - Octubre	10	421	88	123
Agosto - Octubre	82	386	88	124
Agosto - Octubre	12	422	85	111
Agosto - Octubre	82	386	82	104
Septiembre - Noviembre	40	272	80	273
Septiembre - Noviembre	54	218	68	182
Septiembre - Noviembre	39	271	79	283
Septiembre - Noviembre	32	265	85	320
Septiembre - Noviembre	29	361	79	283

Tabla 12: entrenamiento junio - noviembre



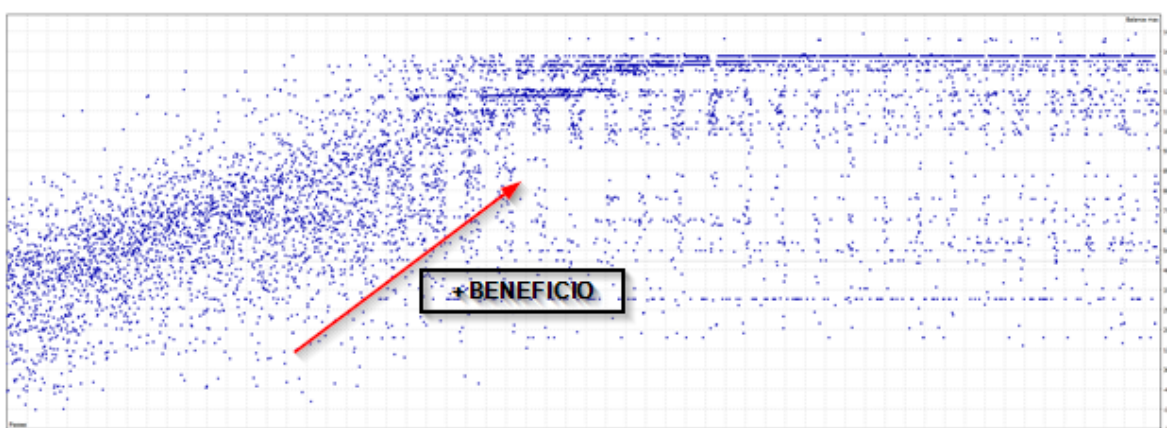
### 6.3.1.1. Resultados de los genéticos

Para el período de entrenamiento que se quiere optimizar, se muestra la generación de la ejecución en la que se ha obtenido el mejor resultado, así como el número de test dentro de esa generación. Por ejemplo, en un entrenamiento realizado para el período marzo – mayo, el mayor beneficio se obtiene en el test 424 de la generación 17.

Pass	Result
17, 424	14766.91

*Ilustración 32: resultado optimización*

Una vez el algoritmo genético ha finalizado, también se obtiene una gráfica de dispersión que relaciona el criterio de optimización (el balance) con el pase en el que se ha conseguido ese resultado. El pase es el número del test que se realiza.



*Ilustración 33: gráfica optimización*

En el eje X se encuentra el pase (valor máximo 8704), y en el eje de la Y el balance obtenido, valor máximo 14766,91€. Se observa como el beneficio va mejorando a lo largo de las ejecuciones del algoritmo.

El mejor resultado se obtiene en el test número 8704:

```
genetic optimization finished on pass 8704 (of 1108357264)
```

*Ilustración 34: test del mejor resultado del algoritmo genético*

Para el resultado que se obtiene, se determinan los períodos que producen ese resultado, esos períodos son los mostrados en las tablas 10, 11 y 12.

### 6.3.2. Resultado test

Ahora, se presentan los balances obtenidos utilizando el algoritmo desarrollado y estableciendo como parámetros de entrada los valores presentados en las tablas de arriba.

A su vez también se muestran los resultados de haber empleado la estrategia de Buy & Hold, es decir, comprar al inicio del período y vender a la finalización del mismo.

Recaltar que el depósito inicial que se utiliza es de 5000€.

Recordatorio: para el período test de enero, los valores de los parámetros son los correspondientes a la ventana de octubre – diciembre. Para febrero la ventana de noviembre – enero, y así sucesivamente.

	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Cotización Inicio	Cotización Final	Buy & Hold (Inicial = 5000)	Balance con algoritmo (Inicial = 5000)
Enero	1,08696	1,08300	-19,80	0
Enero	1,08696	1,08300	-19,80	0
Enero	1,08696	1,08300	-19,80	0
Enero	1,08696	1,08300	-19,80	0
Enero	1,08696	1,08300	-19,80	0
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-99,00</b>	<b>0</b>
Febrero	1,08297	1,09289	49,60	-2170,85
Febrero	1,08297	1,09289	49,60	778,5
Febrero	1,08297	1,09289	49,60	-2170,85
Febrero	1,08297	1,09289	49,60	72,27
Febrero	1,08297	1,09289	49,60	0
		<b>Balance Mensual</b>	<b>248,00</b>	<b>-3490,93</b>
Marzo	1,08751	1,13387	231,80	796,07
Marzo	1,08751	1,13387	231,80	1002,6
Marzo	1,08751	1,13387	231,80	743,11
Marzo	1,08751	1,13387	231,80	743,11
Marzo	1,08751	1,13387	231,80	534,21
		<b>Balance Mensual</b>	<b>1.159,00</b>	<b>3819,1</b>

Tabla 13: test enero - marzo



	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Cotización Inicio	Cotización Final	Buy & Hold (Inicial = 5000)	Balance con algoritmo (Inicial = 5000)
Abril	1,13777	1,14504	36,35	522,61
Abril	1,13777	1,14504	36,35	905,99
Abril	1,13777	1,14504	36,35	1889,33
Abril	1,13777	1,14504	36,35	-666,36
Abril	1,13777	1,14504	36,35	-360,39
		<b>Balance Mensual</b>	<b>181,75</b>	<b>2291,18</b>
Mayo	1,14582	1,1138	-160,10	-1572,97
Mayo	1,14582	1,1138	-160,10	-2927,02
Mayo	1,14582	1,1138	-160,10	-2230,93
Mayo	1,14582	1,1138	-160,10	-800,17
Mayo	1,14582	1,1138	-160,10	-2718,95
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-800,50</b>	<b>-10250,04</b>
Junio	1,11301	1,11048	-12,65	-360,46
Junio	1,11301	1,11048	-12,65	1229,09
Junio	1,11301	1,11048	-12,65	-693,35
Junio	1,11301	1,11048	-12,65	-757,12
Junio	1,11301	1,11048	-12,65	-534,09
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-63,25</b>	<b>-1115,93</b>
Julio	1,10939	1,11743	40,20	1388,6
Julio	1,10939	1,11743	40,20	848,81
Julio	1,10939	1,11743	40,20	644,12
Julio	1,10939	1,11743	40,20	834,21
Julio	1,10939	1,11743	40,20	-484,95
		<b>Balance Mensual</b>	<b>201,00</b>	<b>3230,79</b>

Tabla 14: test abril - julio

	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Cotización Inicio	Cotización Final	Buy & Hold (Inicial = 5000)	Balance con algoritmo (Inicial = 5000)
Agosto	1,11715	1,11418	-14,85	-1307,21
Agosto	1,11715	1,11418	-14,85	-661,94
Agosto	1,11715	1,11418	-14,85	-2198,11
Agosto	1,11715	1,11418	-14,85	-676,49
Agosto	1,11715	1,11418	-14,85	-1307,21
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-74,25</b>	<b>-6150,96</b>
Septiembre	1,11538	1,12399	43,05	-21,88
Septiembre	1,11538	1,12399	43,05	-866,94
Septiembre	1,11538	1,12399	43,05	-1073,72
Septiembre	1,11538	1,12399	43,05	-543,57
Septiembre	1,11538	1,12399	43,05	-1684,33
		<b>Balance Mensual</b>	<b>215,25</b>	<b>-4190,44</b>
Octubre	1,12328	1,09762	-128,30	-1994,3
Octubre	1,12328	1,09762	-128,30	1026,65
Octubre	1,12328	1,09762	-128,30	1026,65
Octubre	1,12328	1,09762	-128,30	1966,62
Octubre	1,12328	1,09762	-128,30	-2927,51
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-641,50</b>	<b>-901,89</b>
Noviembre	1,09761	1,0587	-194,55	-1531,54
Noviembre	1,09761	1,0587	-194,55	-3100,29
Noviembre	1,09761	1,0587	-194,55	-3730,19
Noviembre	1,09761	1,0587	-194,55	-2482,63
Noviembre	1,09761	1,0587	-194,55	-3730,19
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-972,75</b>	<b>-14574,84</b>

Tabla 15: test agosto - noviembre



	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Cotización Inicio	Cotización Final	Buy & Hold (Inicial = 5000)	Balance con algoritmo (Inicial = 5000)
Diciembre	1,05891	1,05068	-41,15	3222,46
Diciembre	1,05891	1,05068	-41,15	-1059,76
Diciembre	1,05891	1,05068	-41,15	2666,03
Diciembre	1,05891	1,05068	-41,15	1340,23
Diciembre	1,05891	1,05068	-41,15	0
		<b>Balance Mensual</b>	<b>-205,75</b>	<b>6168,96</b>
		<b>Balance Anual</b>	<b>-852,00</b>	<b>-25165</b>

*Tabla 16: test diciembre*

A continuación, se presenta una tabla más detallada de los balances obtenidos en los períodos de test.

	Media	Mediana	Desviación típica	Máxima	Mínima	Buy & Hold
Enero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-19,80
Febrero	-698,19	0,00	1378,33	778,50	-2170,85	49,60
Marzo	763,82	743,11	167,06	1002,60	534,21	231,80
Abril	458,24	522,61	1023,17	1889,33	-666,36	36,35
Mayo	-2050,01	-2230,93	871,64	-800,17	-2927,02	-160,10
Junio	-223,19	-534,09	826,25	1229,09	-757,12	-12,65
Julio	646,16	834,21	690,48	848,81	-484,95	40,20
Agosto	-1230,19	-1307,21	628,14	-661,94	-2198,11	-14,85
Septiembre	-838,09	-866,94	617,54	-21,88	-1684,33	43,05
Octubre	-180,38	1026,65	2142,46	1966,62	-2927,51	128,30
Noviembre	-2914,97	-3100,29	930,63	-1531,54	-3730,19	-194,55
Diciembre	1233,79	1340,23	1788,86	3222,46	-1059,76	-41,15

*Tabla 17: resultado test detallados*

En la tabla anterior, todos los datos corresponden a los resultados usando el algoritmo desarrollado, excepto la columna de Buy & Hold, que muestra las medias de los balances de cada mes usando esa estrategia.

## 6.4. Análisis de los resultados atendiendo a los balances

Observando a la tabla siguiente, se observa que 4 de los meses del año se obtiene un balance positivo, lo que lleva a inferir que el algoritmo desarrollado no es suficientemente fiable como para emplearlo para obtener un beneficio.

Buy & Hold		Media
-19,80	Enero	0,00
49,60	Febrero	-698,19
231,80	Marzo	763,82
36,35	Abril	458,24
-160,10	Mayo	-2050,01
-12,65	Junio	-223,19
40,20	Julio	646,16
-14,85	Agosto	-1230,19
43,05	Septiembre	-838,09
128,30	Octubre	-180,38
-194,55	Noviembre	-2914,97
-41,15	Diciembre	1233,79

*Tabla 18: balances medios*

Destacar que en todos los meses que el algoritmo obtiene beneficio (marzo, abril, julio y diciembre), también por Buy & Hold el balance sería positivo, excepto para el mes de diciembre, que el algoritmo es claramente superior.

En cuanto al mes de enero, el algoritmo no lleva a ejecutar ninguna operación de compra o venta porque no se dan las condiciones en ningún momento del período, por lo que el balance final será 0. Mientras que Buy & Hold daría pérdida.

El balance final es que el algoritmo desarrollado, junto con el entrenamiento llevado a cabo, son superiores a Buy & Hold 5 de los 12 meses del año.

En cuanto a las ganancias y pérdidas máximas, se observa con claridad que los meses que el balance es positivo, se obtiene mayor beneficio usando la estrategia creada que con Buy & Hold. Pero, si por el contrario el balance es negativo, las pérdidas llegan a ser mucho más pronunciadas con el algoritmo desarrollado.

Utilizando el algoritmo, el balance más positivo se obtiene para el mes de diciembre, la media de las 5 ejecuciones que se realizan produce un balance medio de 1233,79€; a su vez, en una sola ejecución el mejor balance que se obtiene en 3222,46€.



Mientras que con la estrategia Buy & Hold, el mes de más ganancias es el de Marzo, eso se corresponde a que marzo, es el mes en el que más ha subido el precio del Euro frente al Dólar estadounidense.

Por el contrario, el peor mes para el algoritmo es el de noviembre. Casualmente, el mejor y el peor mes están seguidos. Se pierde una media de 2914,97€. Este mes, también es el peor siguiendo Buy & Hold, por lo tanto, las pérdidas se pueden entender desde el punto de vista que la cotización baja y el algoritmo no consigue sacar un buen partido usando los parámetros conseguidos en el período de entrenamiento.

Por lo tanto, Buy & Hold nos asegurará beneficios o pérdidas más suavizadas que la estrategia creada.

## 6.5. Análisis de resultados con T-Test

Para analizar los resultados desde una perspectiva más técnica y certera, se lleva a cabo un T- Test. Los T-Test estudian la media de dos poblaciones distintas que siguen una distribución normal [24]. En este caso, se asume que las distribuciones son normales para llevar a cabo esta comprobación.

Las poblaciones que se van a utilizar para este T-Test van a ser las medias de los balances mensuales de Buy & Hold y los del sistema desarrollado.

El T-Test que se va a llevar a cabo es para poblaciones con distinta varianza y  $\alpha = 0.05$ .

La hipótesis nula es que no hay diferencia entre la media de los balances de ambas poblaciones.

Usando en Excel la función PRUEBA.T , el resultado que se obtiene es  $p=0.25$ , por lo tanto como  $p > \alpha$  la hipótesis nula se puede aceptar. Entonces se puede afirmar que no hay diferencia significativa entre las medias de los balances de buy & hold y los de la regla de trading desarrollada.



Por lo tanto, las reglas aquí establecidas no son suficientemente buenas o malas como para afirmar que el empleo del algoritmo produciría unas ganancias o pérdidas elevadas.



## Capítulo 7

### 7. Conclusión y posibles mejoras.

#### 7.1. Conclusión

En cuanto a los resultados obtenidos en la experimentación aquí realizada, lo más importante es el resultado obtenido en el último apartado del T- Test, que permite afirmar con seguridad que la diferencia entre emplear la estrategia aquí desarrollada y la estrategia de Buy & Hold, no es suficientemente significativa como para determinar que una es mejor que la otra. Es decir, **el algoritmo de trading desarrollado junto el algoritmo genético desarrollado, no consiguen batir a Buy & Hold.**

Se considera que con el algoritmo genético utilizado se consiguen valores muy buenos para los períodos de entrenamiento, basta con observar a la columna “beneficio” de la tabla 9. La conclusión de esta interpretación es que la posible mejora de la solución iría por la senda de cambiar el algoritmo de trading antes que el algoritmo genético. De hecho, y como se ha explicado en el punto 5.6, la mejora de parámetros es una de las aplicaciones principales de los algoritmos genéticos.

Por tanto, el siguiente paso, ya que se considera el algoritmo genético utilizado como apropiado, sería replantear la estrategia de trading, es decir, las reglas que establecen el lanzamiento de órdenes de compra y venta.

Este trabajo pretende mostrar que, en el mundo del trading algorítmico para obtener beneficios, hay una infinidad de estrategias a seguir: tanto indicadores, períodos, tipo de optimización, mercados. Por ello, antes de lanzarse al mercado a operar con dinero con real, conviene realizar un estudio técnico del mismo junto con la aplicación de técnicas de programación para desarrollar un robot de





trading que pueda operar por nosotros con garantías suficientes de conseguir resultados positivos.

## 7.2. Posibles mejoras

En este tipo de trabajos, las mejoras y la complejidad que se puede llegar a alcanzar es prácticamente ilimitada, tanta como sea la imaginación del autor.

Cabe destacar que, aunque se implementen algoritmos más complejos, no tienen por qué funcionar mejor, es decir, el beneficio que se obtenga puede ser mayor en el algoritmo aquí desarrollado que en otro de mayor complejidad, también esto depende también depende del período de tiempo analizado, ya que una estrategia no funcionará igual en un momento que en otro.

A continuación, se plantean diferentes mejoras:

- La mejora más importante y significativa que podría darse sería el método de ejecución utilizado . En vez de usar los precios que se recogen cada minuto, la alternativa habría sido la de usar los precios de apertura. El tiempo de computación en esta modalidad es de solamente segundos y por lo tanto en vez de haber realizado 5 ejecuciones por período, podrían haberse realizado 20 ejecuciones por período. Cabe la posibilidad, que, con la realización de más ejecuciones, la prueba final de T-Test hubiese descartado la hipótesis nula, es decir, las medias de la estrategia desarrollada y de Buy & Hold son diferentes.
- Se pueden llegar combinar todo tipo de indicadores para que las reglas del algoritmo sean muy específicas de manera que éste solo realice las operaciones de compra y venta bajo condiciones muy específicas, pero con gran porcentaje de acierto. Esto es bastante acertado cuando se

quieren realizar operaciones con grandes cantidades de dinero, cuando el riesgo de pérdida es mayor.

- Por el contrario, podría plantearse una estrategia de Trading de alta frecuencia, es decir, realizar un número considerablemente alto de operaciones, pero con un menor capital involucrado en cada una de ellas.
- Si se tiene en cuenta la estrategia aquí implementada, una opción es variar el funcionamiento del RSI. En este proyecto se comparan el RSI de período corto y período largo y cuando se da que uno corta al otro bien se compra o bien se vende dependiendo del sentido del cruce. Pues bien, otra manera muy común de trabajar con el RSI es actuar cuando éste supera una cota, bien por arriba o por abajo. El método más común sería comprar cuando el RSI de período 14 desciende de 30, ya que se presupone que una tendencia ascendente está próxima; y vender cuando el RSI de mismo período supera 70, ya que es bastante probable que una tendencia descendente esté próxima. En el caso de que se desarrolle esta estrategia, también se considerarían parámetros de entrada las cotas de compra – venta (30-70). Por lo tanto, en la fase de optimización de parámetros, también serían tenidos en cuenta para determinar qué cotas de compra – venta son las más adecuadas para obtener un beneficio mayor. Para así rebatir la hipótesis del inventor del RSI, J.Welles Wilder que sostenía que el RSI más preciso es el de período 14, con cota superior 70 y cota inferior 30.
- En cuanto a la manera de optimizar los parámetros de entrada del algoritmo, se considera que la mejor forma es la utilizada en este proyecto, mediante algoritmos genéticos y por lo tanto no se propone ninguna mejora relacionado con este aspecto.



## Capítulo 8

### 8. Marco regulador

En cuanto a las regulaciones, la Comisión Europeo publicó un documento [\[17\]](#) [11] el 19 de julio de 2016 donde se recogen los requisitos que han de cumplir las empresas para el uso del trading algorítmico, los requisitos de los sistemas usados por las empresas para efectuar dicho trading, así como requisitos relacionados con el acceso electrónico para la realización de la actividad.

A continuación, y para tener una idea aproximada de cuáles son las intenciones de dicho documento creado por la Comisión Europea, se describen las principales regulaciones establecidas:

- Antes de empezar a operar, se deben establecer unas metodologías para el desarrollo y pruebo del sistema. Estas metodologías deben asegurar:
  - El sistema tiene un buen comportamiento.
  - Cumple las obligaciones de la empresa de acuerdo con la regulación vigente.
  - Cumple las reglas de sistemas de trading algorítmicos, aceptadas previamente por la empresa.
  - Es capaz de operar en condiciones de mucho volumen de mercado, así como de ser desconectado cuando sea necesario.
- La empresa debe registrar cualquier cambio hecho en el sistema.
- La empresa debe garantizar que el sistema puede ser testeado y que éstos son superados satisfactoriamente.
- La empresa debe guardar el historial de todas las operaciones realizadas por su sistema.



En este documento, hay infinidad de regulaciones que pueden ser consultadas en el enlace de la bibliografía.

El objetivo de la Comisión Europea con la creación de estas regulaciones es limitar y controlar los riesgos potenciales del trading algorítmico por medio de sistemas informáticos, ya que su uso durante los últimos años se ha incrementado exponencialmente y muchas empresas se aprovechaban por ello [\[18\]](#).

El riesgo principal del uso de sistemas de trading algorítmico es, sin duda, el potencial uso de grandes cantidades de dinero. En cuanto se entra en el mercado, se pone el capital en riesgo y con él, una posible pérdida.

En cuanto a la propiedad intelectual, existen numerosas técnicas de trading que luego pueden ser empleadas en un sistema que le haga las operaciones de compra y venta en determinadas situaciones. Si alguien crea un algoritmo o conjunto de reglas siempre tendrá la posibilidad de compartirlo en una comunidad de tal manera que pueda ser utilizado por el resto de miembros.



# Capítulo 9

## 9. Entorno socio-económico

### 9.1. Presupuestos

Para el desarrollo de este trabajo se ha contado con la colaboración de dos personas físicas, tanto el tutor del trabajo, como el autor del mismo. Para ello se asumirán dos roles distintos, uno de ingeniero senior para el tutor y otro de ingeniero junior para el autor, cada uno con sus sueldos por hora correspondientes.

A través del siguiente diagrama de Gantt se muestran los plazos para la ejecución del proyecto y los días que han sido necesarios emplear para cada una de las etapas consideradas.

ACTIVIDAD	Fecha inicio	Duración (días)	Fecha fin
Definición de objetivos con el tutor	17/11/2016	5	22/11/2016
Adquisición conocimientos específicos del tema	25/11/2016	15	10/12/2016
Leer documentación MQL5 y MetaTrader	01/12/2016	15	16/12/2016
Reflejar objetivos en la memoria	15/12/2016	3	18/12/2016
Estado del arte	01/02/2017	30	03/03/2017
Desarrollo del algoritmo	01/03/2017	60	30/04/2017
Experimentación	01/06/2017	5	06/06/2017
Análisis de los resultados	07/06/2017	3	10/06/2017
Explicación de la experimentación llevada a cabo	11/06/2017	2	13/06/2017
Repaso de la memoria	14/06/2017	3	17/06/2017

Tabla 19: Duración de las etapas.

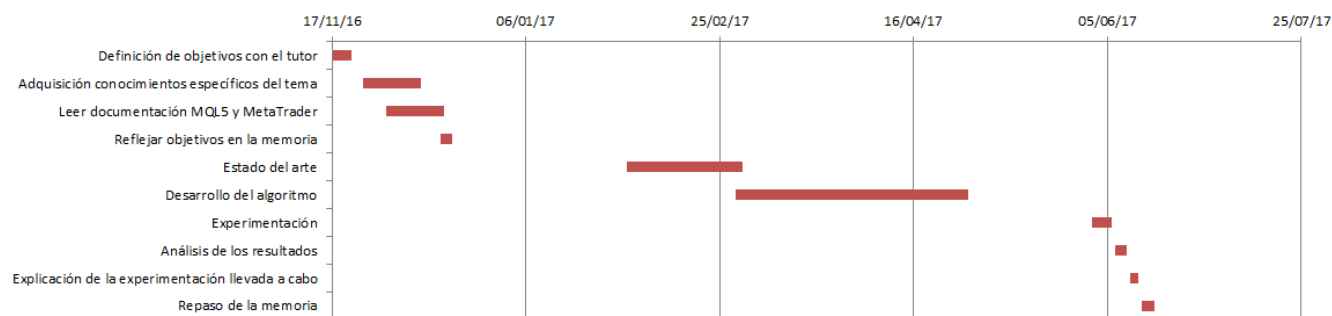


Tabla 20: Diagrama de Gantt

En el diagrama de Gantt se observa que hay dos parones significativos en la carga de trabajo, uno en enero y otro en mayo, debido a los períodos de exámenes a los que el autor ha debido atender.





resultados y conclusiones, no se garantiza que se vaya a obtener un beneficio. Por lo tanto, es evidente que existe un riesgo económico.

- Impacto ético: la explotación del trabajo aquí desarrollado debe realizarse siguiendo unas normas morales que no perjudiquen a terceros.
- Impacto social: en caso de que el trabajo tuviese éxito, es decir, se usa el algoritmo para invertir y los resultados que se obtienen son magníficos. Muchas personas podrían verse interesadas en usarlo y entre los usuarios se crearía una tendencia en su uso, lo cual puede ser considerado como un impacto social.



# Abstract

## Introduction

Both revolution of technology and digital transformation have arrived in the stock market so what we once could do with a phone call now we can do it through an automated trading robot that allow us to perform operations in just milliseconds. This is so important that, for example, many of the big enterprises all around United Kingdom are starting to settle in London's financial center.

As some data show, in Spain, through November 2016, 50 million of trading operations have been executed with a cash flow of 693921 million Euros.

The objective of any enterprise is to maximize their benefits, this is the reason that makes this market propitious for firms to invest. There are big teams within enterprises that dedicate themselves to trading. The ideal person to fit in that kind of job may have programming, statistical, financial and economic knowledge.

So, it is quite necessary to create and optimize stock agents that allow to gain the maximum benefit.

## Objectives

The objective of this project is the development of an algorithm based on some rules, that determine if the system may buy, sell or neither of the previous ones. For this purpose, some technical indicators are used and the system will calculate their values through different periods of times. The rules consist of executing some action depending on the values of those indicators.

Those values will vary upon the period they refer to. For example, it is not the same the average of an indicator if it considers 10 sessions that if it considers 50. The objective is to look for the values of those periods that maximize the balance sheet. To find the best values, an optimization based on genetic algorithms is performed. This optimization will have some training periods, and the values





obtained through the training will be applied for the testing periods. Once the results of the testing periods are known, it is possible to determine whether the algorithm works properly or not.

The use of these algorithm does not guarantee that balances are positive, it may happen that the algorithm is fine for a period but it is not that fine for another.

The system will show when buy and sell orders have been sent, being possible to perform two or more operations of same type in a row. The market on which all the procedures are performed is the Foreign Exchange Market, and the currencies involved are Euro – US\$.

### **Design of the solution**

It is important to consider that, as it is remarked above, the algorithm designed may produce benefits or loses.

After discussing and evaluating the different types of trading strategies discussed in state of art, it is decided to set the following condition for the trading rule:

- To buy when Golden cross for both RSI and moving averages take place.  
Golden cross is a strategy based on the cross of the same indicator but for different periods. It happens when the value of the short period crosses upwards de value of the long one.
- To sell when Death cross for both RSI and moving averages take place.  
Death cross is a strategy based on the cross of the same indicator but for different periods. It happens when the value of the short period crosses downwards the value of the long one.

This algorithm belongs to the family of the so-called Black Box Algorithms, also known as win-loss algorithms.

## Experimentation, results and analysis.

The chosen method for carrying out the different tests to get the results is known as sliding window.

This method consists of looking for the values (periods of the indicators used in the strategy rule) that maximize the benefit during a training period in order to apply those values in a test period.

Training periods will consist of subgroups of three months. The test period will be the month right after the training. It is, supposing the training period is February, March and April, the values of the input parameters that maximize the benefit are obtained using genetic algorithms. This best-values are set as the input parameters for the test period, in this case would be may. It is shown better in the image below:

2015							2016
Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Primer período entrenamiento			Primer período test				
	Segundo período entrenamiento			Segundo período test			
		Tercer período entrenamiento			Tercer período test		
			Cuarto período entrenamiento			Cuarto período test	
			ASÍ SUCEсивAMENTE HASTA DICIEMBRE ÚLTIMO TEST				

Tabla 22: sliding window

The experimentation performed for this project include the following training and test periods. The initial deposit for all the experiments performed throughout the project is 5000€:

- Training periods have a span of three months, the very first one goes from October 1<sup>st</sup>, 2015 to December 31<sup>st</sup>, 2015. The next one from November 1<sup>st</sup> 2015 to January 1<sup>st</sup>, 2016, the following from December 1<sup>st</sup>, 2015 to February 28<sup>th</sup> 2016 and so on, being the last training period September 1<sup>st</sup>

2016 – November 30<sup>th</sup> 2016. For this period, a table is created with the best values, also the profit is included. The execution for each one of the periods is repeated five times as it is shown in the image below:

OPTIMAL VALUES					
	RSI SHORT	RSI LONG	MA SHORT	MA LONG	PROFIT
October - December	33	338	90	93	10882
October - December	33	338	90	91	10882
October - December	33	338	90	91	10882
October - December	33	338	90	91	10882
October - December	33	338	90	91	10882

*Tabla 23: training period*

Each execution of the optimization lasts for around one hour.

- Test periods are one month span, the first of them will be January 2016, using as parameters the ones optimized in the first training period. The second test period will be February, using as parameters the ones optimized during the second training period. Being the last test period December 2016. For this period, a table is created with the balance of the month and the initial and final price of the currency used (Euro – US\$), in order to check later which one of the strategies is better.

	Initial Price	Final Price	Buy & Hold (Initial = 5000)	Balance con algoritmo (Initial = 5000)
April	1,13777	1,14504	36,35	522,61
April	1,13777	1,14504	36,35	905,99
April	1,13777	1,14504	36,35	1889,33
April	1,13777	1,14504	36,35	-666,36
April	1,13777	1,14504	36,35	-360,39
		<b>Monthly balance</b>	<b>181,75</b>	<b>2291,18</b>

*Tabla 24: test period*

The results for the training periods are shown below:

	RSI SHORT	RSI LONG	MA SHORT	MA LONG	PROFIT
October - December	33	338	90	93	10882
October - December	33	338	90	91	10882
October - December	33	338	90	91	10882
October - December	33	338	90	91	10882
October - December	33	338	90	91	10882
November - January	32	256	89	314	9098,14
November - January	17	91	84	101	9112,6
November - January	33	257	81	88	8509,08
November - January	20	338	86	109	9628
November - January	21	339	86	109	8617
December - February	21	339	48	73	15025,94
December - February	21	339	47	71	14706
December - February	19	337	48	70	15431
December - February	19	337	47	67	15466
December - February	20	338	48	68	15991

Tabla 25: training period October - February

	RSI SHORT	RSI LONG	MA SHORT	MA LONG	PROFIT
January - March	15	225	47	75	13250
January - March	15	226	47	77	12254
January - March	13	119	41	67	13483
January - March	13	119	47	75	13887
January - March	14	120	48	76	13882
February - April	9	111	43	68	15152
February - April	38	188	42	67	14591,99
February - April	11	221	45	73	14458,36
February - April	9	65	44	72	14697,95
February - April	9	220	43	71	14574,96
March - May	53	158	68	107	10485
March - May	11	66	31	45	8677
March - May	55	159	35	47	9458
March - May	30	252	76	117	10465
March - May	60	163	34	45	8867
April - June	12	146	37	50	15136
April - June	20	145	36	45	11244
April - June	88	366	35	47	11103
April - June	89	367	37	49	11027
April - June	39	357	36	47	9481

Tabla 26: training period January - June

	RSI SHORT	RSI LONG	MA SHORT	MA LONG	PROFIT
May - July	13	145	40	46	10451
May - July	14	146	38	45	9567
May - July	15	293	41	50	9072
May - July	14	146	41	51	9315
May - July	13	145	43	56	9777
June - August	20	284	44	68	10264
June - August	20	286	45	71	10414
June - August	13	179	44	63	9192
June - August	16	389	45	76	8256
June - August	9	384	63	91	9964
July - September	9	381	61	308	5905
July - September	9	381	79	104	6902
July - September	9	381	80	105	6688
July - September	9	381	85	109	6074
July - September	10	45	63	270	5383
August - October	43	180	88	109	7920
August - October	10	421	88	123	8598
August - October	82	386	88	124	8286
August - October	12	422	85	111	8699,55
August - October	82	386	82	104	8778
September - November	40	272	80	273	9392
September - November	54	218	68	182	9736
September - November	39	271	79	283	9365
September - November	32	265	85	320	8831
September - November	29	361	79	283	9171

*Tabla 27: training period May - November*

The results above show some characteristics that are right to explain. There are some periods that for all the executions performed, the results obtained are identical, it is the case of the first period (October 2015 – December 2015). Nevertheless, for other periods the results obtained are completely different, it is the case of the period June – August.

Then, results of the test period are shown. In this table, it may be observed the balance after applying both strategies: Buy & Hold and the developed algorithm. As it is stated before, the initial deposit for the inversion is 5000€.



	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Initial Price	Final Price	Buy & Hold (Initial = 5000)	Balance con algoritmo (Initial = 5000)
January	1,08696	1,08300	-19,80	0
January	1,08696	1,08300	-19,80	0
January	1,08696	1,08300	-19,80	0
January	1,08696	1,08300	-19,80	0
January	1,08696	1,08300	-19,80	0
		<b>Monthly balance</b>	<b>-99,00</b>	<b>0</b>
February	1,08297	1,09289	49,60	-2170,85
February	1,08297	1,09289	49,60	778,5
February	1,08297	1,09289	49,60	-2170,85
February	1,08297	1,09289	49,60	72,27
February	1,08297	1,09289	49,60	0
		<b>Monthly balance</b>	<b>248,00</b>	<b>-3490,93</b>
March	1,08751	1,13387	231,80	796,07
March	1,08751	1,13387	231,80	1002,6
March	1,08751	1,13387	231,80	743,11
March	1,08751	1,13387	231,80	743,11
March	1,08751	1,13387	231,80	534,21
		<b>Monthly balance</b>	<b>1.159,00</b>	<b>3819,1</b>

Tabla 28: test period January - March

	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Initial Price	Final Price	Buy & Hold (Initial = 5000)	Balance con algoritmo (Initial = 5000)
April	1,13777	1,14504	36,35	522,61
April	1,13777	1,14504	36,35	905,99
April	1,13777	1,14504	36,35	1889,33
April	1,13777	1,14504	36,35	-666,36
April	1,13777	1,14504	36,35	-360,39
		<b>Monthly balance</b>	<b>181,75</b>	<b>2291,18</b>
May	1,14582	1,1138	-160,10	-1572,97
May	1,14582	1,1138	-160,10	-2927,02
May	1,14582	1,1138	-160,10	-2230,93
May	1,14582	1,1138	-160,10	-800,17
May	1,14582	1,1138	-160,10	-2718,95
		<b>Monthly balance</b>	<b>-800,50</b>	<b>-10250,04</b>
June	1,11301	1,11048	-12,65	-360,46
June	1,11301	1,11048	-12,65	1229,09
June	1,11301	1,11048	-12,65	-693,35
June	1,11301	1,11048	-12,65	-757,12
June	1,11301	1,11048	-12,65	-534,09
		<b>Monthly balance</b>	<b>-63,25</b>	<b>-1115,93</b>
July	1,10939	1,11743	40,20	1388,6
July	1,10939	1,11743	40,20	848,81
July	1,10939	1,11743	40,20	644,12
July	1,10939	1,11743	40,20	834,21
July	1,10939	1,11743	40,20	-484,95
		<b>Monthly balance</b>	<b>201,00</b>	<b>3230,79</b>

Tabla 29: test period April - July



	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Initial Price	Final Price	Buy & Hold (Initial = 5000)	Balance con algoritmo (Initial = 5000)
August	1,11715	1,11418	-14,85	-1307,21
August	1,11715	1,11418	-14,85	-661,94
August	1,11715	1,11418	-14,85	-2198,11
August	1,11715	1,11418	-14,85	-676,49
August	1,11715	1,11418	-14,85	-1307,21
		<b>Monthly balance</b>	<b>-74,25</b>	<b>-6150,96</b>
September	1,11538	1,12399	43,05	-21,88
September	1,11538	1,12399	43,05	-866,94
September	1,11538	1,12399	43,05	-1073,72
September	1,11538	1,12399	43,05	-543,57
September	1,11538	1,12399	43,05	-1684,33
		<b>Monthly balance</b>	<b>215,25</b>	<b>-4190,44</b>
October	1,12328	1,09762	-128,30	-1994,3
October	1,12328	1,09762	-128,30	1026,65
October	1,12328	1,09762	-128,30	1026,65
October	1,12328	1,09762	-128,30	1966,62
October	1,12328	1,09762	-128,30	-2927,51
		<b>Monthly balance</b>	<b>-641,50</b>	<b>-901,89</b>
November	1,09761	1,0587	-194,55	-1531,54
November	1,09761	1,0587	-194,55	-3100,29
November	1,09761	1,0587	-194,55	-3730,19
November	1,09761	1,0587	-194,55	-2482,63
November	1,09761	1,0587	-194,55	-3730,19
		<b>Monthly balance</b>	<b>-972,75</b>	<b>-14574,84</b>

Tabla 30: test period August - November

	EURO-US\$	EURO-US\$		
	Initial Price	Final Price	Buy & Hold (Initial = 5000)	Balance con algoritmo (Initial = 5000)
December	1,05891	1,05068	-41,15	3222,46
December	1,05891	1,05068	-41,15	-1059,76
December	1,05891	1,05068	-41,15	2666,03
December	1,05891	1,05068	-41,15	1340,23
December	1,05891	1,05068	-41,15	0
		<b>Monthly balance</b>	<b>-205,75</b>	<b>6168,96</b>
		<b>Anual balance</b>	<b>-852,00</b>	<b>-25165</b>

Tabla 31: test period December

Those would be the results for all the executions performed, but in order to see more clear the data obtained and be able to derive some conclusions, the next table is presented.

	Average	Median	Standard deviation	Maximum	Minimum	Buy & Hold
January	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-19,80
February	-698,19	0,00	1378,33	778,50	-2170,85	49,60
March	763,82	743,11	167,06	1002,60	534,21	231,80
April	458,24	522,61	1023,17	1889,33	-666,36	36,35
May	-2050,01	-2230,93	871,64	-800,17	-2927,02	-160,10
June	-223,19	-534,09	826,25	1229,09	-757,12	-12,65
July	646,16	834,21	690,48	848,81	-484,95	40,20
August	-1230,19	-1307,21	628,14	-661,94	-2198,11	-14,85
September	-838,09	-866,94	617,54	-21,88	-1684,33	43,05
October	-180,38	1026,65	2142,46	1966,62	-2927,51	128,30
November	-2914,97	-3100,29	930,63	-1531,54	-3730,19	-194,55
December	1233,79	1340,23	1788,86	3222,46	-1059,76	-41,15

*Tabla 32: detailed test results*

Taking a look at the table above, four of the months in 2016 the algorithm would get benefit, this is not enough to affirm that this strategy is feasible to apply in the future.

The algorithm gets positive balance for the months of March, April, July and December. Buy & Hold would also be positive for all of these months except for December.

Regarding to January, the algorithm gets balance equals to 0, this is because none of the rules set are fulfilled, thus the system neither buy nor sell.

If the analysis goes in the direction of how much it is possible to win or lose, it is very clear that our rules are way more sensitive than Buy & Hold, in other words, if with the first one the results are positive, the benefits are much higher than when using Buy & Hold. It happens the same when the balance is negative.

So, Buy & Hold assures softer win or loses than the developed strategy.

To analyze the results from a more technical perspective, a T-Test has been performed. T-Test are useful to analyze the averages of two different population that follow a normal distribution. In this case, it is assumed that both populations follow a normal distribution to carry on with the procedure.





The T-Test that is executed is for populations with different variances and alpha equals to 0.05.

The null hypothesis is that there is no difference between the means of both populations.

Using in Excel the function PRUEBA.T, the result is  $p = 0.25$ . This means that  $p > \alpha$  then the null hypothesis is accepted and it is possible to assert that the difference between the means of the populations is not meaningful.

The final idea of the obtained results is that the rules upon the algorithm works are not enough good or bad to say that its use would produce benefits or loses.

## Conclusion

Regarding the results obtained in the experimentation that is presented in this project, the most important one concerning T- Test, that allows to affirm with confidence that the difference between the strategy developed and Buy & Hold strategy, it is not enough to decide that one strategy is better than the other.

So, the next step, if the aim is to find a solution following the path described in this project, would be to rethink the trading strategy, in other words, the rules that send buy and sell orders.

This project pretends to show that in the algorithmic trading world, there are countless type of elements to follow in order to gain benefit: indicators, periods, optimization methods, market, among others that are not considered in this project. With this purpose on mind, it is convenient to perform a technical analysis before going right into the market with real money.



Finally, the optimization method chosen, genetic algorithms, is shown as a very robust way to solve this kind of problems, although it is not that good for other types.

### **Possible improvements**

In this kind of projects, the potential upgrades and complexity that it is possible to achieve is near to limitless, as much as imagination the creator has.

Although more complex algorithms could be implemented, it is worth taking into that they may not work as properly as we can think, it is, obtaining big benefit. This happens because there are several factors that take part in the process, such as the period, the market, among others.

Then, some possible improvements are presented:

- The main upgrade is likely to be the execution mode that is performed. As it is stated before, the execution mode is one minute, what means, the value of the indicators and the price for every minute. As its time of execution is quite high (almost one hour per execution), it was online possible to perform five executions of optimization per period. The other proposal would be the use of the opening prices. This execution mode takes only 10 seconds, so more experimentations could have been performed (for example 20 instead 5). That number of experimentations may allow the T-Test to reject the null hypothesis if both the mean of the strategy developed and Buy & Hold are different.
- In order to upgrade the results obtained, another option is to change the trading algorithmic, it is, the rules upon which the trading strategy is based. A different use of the RSI indicator would be to instead of crossing two RSI of different periods, use the strategy trading rank, explained in [2.2.5](#).



## Bibliografía

- [1] A. P. Alarcos, «Idealista,» [En línea]. Available: <https://www.idealista.com/news/finanzas/inversion/2016/12/20/744671-10-datos-para-entender-sido-2016-para-la-bolsa-espanola>.
- [2] G. McLeod, «Yahoo! Finance,» 24 Enero 2014. [En línea]. Available: <https://finance.yahoo.com/news/forex-market-size-traders-advantage-044400707.html>.
- [3] R. Kissel, «The Science of Algorithmic Trading and Portfolio Management».
- [4] [En línea]. Available: <https://www.atassn.com/>.
- [5] J. Folger, «Investopedia,» 11 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.investopedia.com/articles/trading/11/automated-trading-systems.asp>.
- [6] M. O. Anthony Brabazon, An introduction to evolutionary computation in finance. , University College Dublin, IRELAND.: Pipeline Financial Group, Inc., USA..
- [7] A.-M. Baiynd, «The Trading Book: A Complete Solution to Mastering Technical Systems and Trading Psychology,» McGraw-Hill, p. 272.
- [8] [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_analysis).
- [9] M. P. Taylor y H. Allen, «The Use of Technical Analysis in the Foreign Exchange Market,» *Journal of International Money and Finance*, p. 304–314, 1992.
- [10] C. Lento, «A Combined Signal Approach to Technical Analysis on the S&P 500,» *Journal of Business & Economics Research.*, 2008.
- [11] «IFC Markets,» [En línea]. Available: <https://www.ifcmarkets.mx/forex-trading-strategies/technical-analysis-strategy>.
- [12] «Investopedia,» [En línea]. Available: <http://www.investopedia.com/terms/g/goldencross.asp>.
- [13] M. L. a. R. Coggins, de *Optimal trade execution: An evolutionary approach*, 2005, pp. 1045–1052.



- [14] I. Staff. [En línea]. Available: <http://www.investopedia.com/articles/technical/070301.asp>.
- [15] «Trader Kingdom,» [En línea]. Available: <http://traderkingdom.com/futures-basics/types-of-indicators/> .
- [16] S. D. Authors: S.N. Sivanandam, *Introduction to Genetic Algorithms..*
- [17] C. Europea, 19 Julio 2016. [En línea]. Available: [http://ec.europa.eu/finance/securities/docs/isd/mifid/rtts/160719-rtts-6\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/finance/securities/docs/isd/mifid/rtts/160719-rtts-6_en.pdf) .
- [18] P. M. Simón, «Cincodías,» 15 Julio 2014. [En línea]. Available: [http://cincodias.elpais.com/cincodias/2014/07/14/mercados/1405365222\\_372102.html](http://cincodias.elpais.com/cincodias/2014/07/14/mercados/1405365222_372102.html).
- [19] «Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Media\\_m%C3%B3vil](https://es.wikipedia.org/wiki/Media_m%C3%B3vil).
- [20] Economipedia. [En línea]. Available: <http://economipedia.com/definiciones/como-se-calcula-ejemplo.html>.
- [21] Ozturk, «Heuristic based trading system on Forex data using technical indicator rules.,» *Applied soft computing*.
- [22] «Stockcharts,» [En línea]. Available: [http://stockcharts.com/school/doku.php?id=chart\\_school:technical\\_indicators:relative\\_strength](http://stockcharts.com/school/doku.php?id=chart_school:technical_indicators:relative_strength)
- [23] Metaquotes Software Company. Available: <https://www.mql5.com/es/articles/239>
- [24] Investopedia. Available: <http://www.investopedia.com/terms/t/t-test.asp>
- [25] <http://www.algotrades.net/is-black-box-trading-investing-the-way-of-the-future/>
- [26] What Makes a Problem Hard for a Genetic Algorithm? Some Anomalous Results and Their Explanation. Stephanie Forrest, Melanie Mitchell.
- [27] <http://algoritmogenticouba.blogspot.com.es/2012/11/programacion-traves-de-ag.html>
- [28] [https://www.metatrader5.com/es/terminal/help/optimization\\_types](https://www.metatrader5.com/es/terminal/help/optimization_types)
- [29] Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Co.Inc: Reading, MA, 1989



[30]

[https://www.tutorialspoint.com/genetic\\_algorithms/genetic\\_algorithms\\_fitness\\_function.htm](https://www.tutorialspoint.com/genetic_algorithms/genetic_algorithms_fitness_function.htm)

[31]

<http://web.cs.ucdavis.edu/~vemuri/classes/ecs271/Genetic%20Algorithms%20Short%20Tutorial.htm>

[32] Schöneburg E., Heinzmann F., Feddersen S., Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien, Addison Wesley ISBN 3-89319-493-2, 1994



## **Anexos**

### **Siglas**

[S1] MQL: MetaQuotes Language

[S2] RSI: Relative Strength Index: Índice de Fuerza Relativa

### **Definiciones**

[D1] Oferta: cantidad de un producto que está disponible en el mercado para los consumidores.

[D2 ] Demanda: es un parámetro que determina cuanto de dispuesto está un consumidor a pagar por un producto.

[D3] Forex: mercado de divisas: Se negocian divisas, se creó con el objetivo de facilitar el flujo monetario fruto del comercio internacional.

[D4] Spread: diferencia entre el precio de compra y precio de venta de un activo financiero.

[D5] Algoritmo genético: los Algoritmos Genéticos (AGs) son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos.

[D6] Perceptrón Multicapa: el perceptrón multicapa es una red neuronal artificial (RNA) formada por múltiples capas, esto le permite resolver problemas que no son linealmente separables, lo cual es la principal limitación del perceptrón.

[D7] Microsoft Office: es una suite ofimática que abarca el mercado completo en Internet e interrelaciona aplicaciones de escritorio, servidores y servicios.